



ТАРТУСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ ДЛЯ МЕДИКОВ

III

ТАРТУ 1991

ТАРТУСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра геофизики

ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ ДЛЯ МЕДИКОВ

III

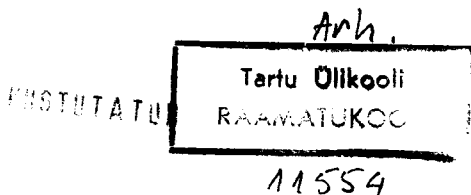
Составители: Т.К.МЮЙРСЕПП,
Х.В.ТЕРАЛЬ

Тарту 1991

Утверждено на заседании совета физико-химического
факультета ТУ 18 апреля 1990 года.

С о д е р ж а н и е

1. Ознакомление с микроскопом.....	3
2. Определение показателя преломления жидкости с помощью ре- фрактометра АББЕ.....	22
3. Ознакомление с спектроскопом.....	34
4. Определение концентрации сахара в растворе.....	45
5. Использование фотоэлемента в люксметре.....	55
6. Определение оптической плотности и концентрации раство- ров фотоэлектрическим колориметром.....	64
7. Исследование свойств лазерного излучения.....	78



ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ ДЛЯ МЕДИКОВ III.
Составители Тийу М в Й р с е п п, Хильда Т е р а л ь.
На русском языке.
Тартуский университет.
ЭР, 202400, г.Тарту, ул.Оликооли, 18.
Ответственный редактор Т. Мойрсепп.
Подписано к печати 29.12.1990.
Формат 60x84/16.
Бумага ротаторная.
Машинопись. Ротапринт.
Условно-печатных листов 5,35.
Учетно-издательских листов 5,18. Печатных листов 5,75.
Тираж 400.
Заказ № 909.
Цена 1 руб.
Типография ТУ, ЭР, 202400, г.Тарту, ул.Тийги, 78.

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С МИКРОСКОПОМ

Элементы теории и устройство микроскопа.

Оптические свойства глаза. Микроскоп обеспечивает увеличение угла зрения при наблюдении мелких деталей объекта. Поскольку изображения, получаемые в приборе, рассматриваются глазом, то требования, предъявляемые к этим изображениям, зависят от свойств человеческого глаза как оптической системы. Рассмотрим ниже две особенности физиологического строения глаза, существенные с этой точки зрения.

Основной линзой глаза является хрусталик, дающий изображение y' предмета y на сетчатой оболочке глаза как показано на рис. I.

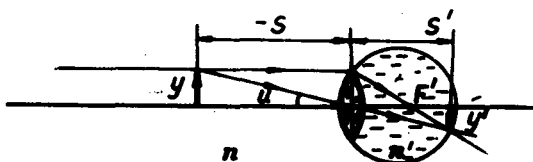


Рис. I. Возникновение изображения в оптической системе глаза.

Показатель преломления ($n' = 1,336$) стекловидной жидкости, заполняющей глаз за хрусталиком, отличается от показателя преломления воздуха ($n = 1$) перед хрусталиком. Применяя для этого случая формулу тонкой линзы, получим для оптической системы глаза:

$$\frac{n'}{S'} + \frac{1}{S} = \frac{1}{f}, \quad (I)$$

где f - переднее фокусное расстояние хрусталика, S - расстояние от предмета до глаза (до центра хрусталика), S' - от центра хрусталика до сетчатой оболочки. Для глаза величины f и S' постоянны. Для того чтобы изображение предмета, находящегося на различных расстояниях S от глаза, попадало на сетчатую оболочку его, необходимо с изменением S в соответствии с формулой (1) изменять фокусное расстояние хрусталика. Для этого служат специальные мышцы, деформирующие хрусталик и позволяющие аккомодировать глаз (менять кривизну хрусталика, т.е. оптическую силу) в очень широких пределах. Оптическая сила глаза меняется от 60 до 70 диоптрий. У взрослого здорового человека при приближении предмета к глазу до 25 см аккомодация происходит без напряжения. Расстояние $L = 25$ см называется расстоянием наилучшего зрения (ясного видения). При рассмотрении более близко расположенных объектов приходится уже напрягать аккомодационный аппарат.

Вторая особенность глаза заключается в следующем: свет, попадая на сетчатую оболочку, раздражает окончание зрительного нерва. Это раздражение передается в головной мозг и в нем формируется зрительный образ. Чувствительные к свету элементы (фоторецепторы) сетчатки находятся на некотором, хотя и небольшом, расстоянии друг от друга. Если изображение предмета будет столь малым, что покроет один светочувствительный элемент, то глаз будет воспринимать этот предмет как одну светящуюся точку. Для того чтобы изображения крайних точек предмета попадали на соседние светочувствительные элементы, предмет должен быть виден под углом большим минимального u_{\min} (рис. 1). Этот угол приблизительно равен $1'$, что соответствует расстоянию между точками в 70 мкм, если объект находится на расстоянии наилучшего зрения. Размер y' в этом случае 5 мкм. Угол зрения определяется из формулы $\tan u = \frac{y}{S}$, т.е. зависит как от размеров объекта, так и от расстояния его до глаза. Таким образом можно сделать вывод: глаз не может различать деталей объектов слишком удаленных или слишком малых (видит их как точечные).

Формирование изображения в микроскопе. Принципиальная схема микроскопа изображена на рис. 2.

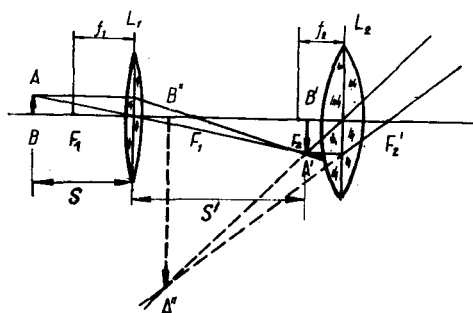


Рис. 2. Оптическая схема микроскопа.

Короткофокусная линза L_1 (для получения большого увеличения) служит объективом, а короткофокусная линза L_2 - окуляром. Предмет AB помещается перед объективом на расстоянии немного большем переднего фокусного расстояния объектива. Вследствие этого объектив дает действительное увеличенное изображение $A'B'$ предмета.

Увеличение, даваемое объективом

$$K_{об} = \frac{S'}{S} \approx \frac{\Delta}{f_1}, \quad (2)$$

где S - расстояние от предмета до центра линзы L_1 , S' - расстояние от центра линзы L_1 до изображения $A'B'$,

f_1 - переднее фокусное расстояние объектива, Δ - расстояние между задним фокусом объектива и передним фокусом окуляра. Величину Δ называют оптической длиной тубуса микроскопа. Окуляр действует как лупа. Изображение $A'B'$, которое можно рассматривать как объект для линзы L_2 , располагается между передней фокальной плоскостью и оптическим центром

линзы L_2 (практически в фокусе). Окуляр создаёт увеличенное мнимое изображение $A''B''$. Обычно наблюдатель располагает глаз на расстоянии L наилучшего зрения от плоскости, в которой возникает изображение $A''B''$. В таком случае увеличение окуляра

$$K_2 = \frac{A''B''}{A'B'} = \frac{L}{f_2} \quad (2')$$

и всего микроскопа

$$K = \frac{A''B''}{AB} = \frac{\Delta \cdot L}{f_1 f_2} \quad (3)$$

или

$$K = K_1 \cdot K_2$$

Понятия разрешающей способности, числовой апертуры и полезного увеличения микроскопа. Наименьшее расстояние между двумя точками объекта, которые воспринимаются в микроскопе раздельно или, как принято говорить, разрешены, называется пределом разрешения. Применяя это понятие к условиям микроскопирования биологических препаратов, можно считать, что предел разрешения обуславливает наименьшие размеры тех структурных деталей, которые могут различаться в препарате.

Разрешающая способность – это величина обратная пределу разрешения. Разрешающая способность микроскопа в целом определяется разрешающей способностью объектива. Окуляр не выявляет никаких дополнительных деталей в структуре препарата, а служит только для увеличения угла зрения. Величина разрешающей способности оптического прибора зависит от волновых свойств света. При наблюдении очень мелких предметов, размеры которых соизмеримы с длиной волны света, становится заметным отклонение света от прямолинейного распространения (огibaние) – дифракция волн. Даже идеальная оптическая система (т. е. в которой исключены все аберрации) не даёт геометрически точного изображения, а возникают так называемые дифракционные кольца. В случае очень мелких и близко расположенных объектов кольца перекрываются и объекты нельзя увидеть раздельно.

Теория разрешающей способности оптических приборов разрабатывалась Э.Аббе и позднее Л.И.Мандельштамом и Д.С.Рожественским. Подробнее с этой теорией можно ознакомиться по [1,2]. Приведем здесь конечные формулы для предела разрешения α . В случае освещения препарата пучком параллельных лучей:

$$\alpha = \frac{\lambda_0}{n \cdot \sin \vartheta} \quad (4)$$

В этой формуле λ_0 - длина волны используемого света в вакууме. Величину $A = n \cdot \sin \vartheta$ называют числовой апертурой микроскопа, n - показатель преломления среды между объективом и объектом, ϑ - угол, образованный оптической осью объектива и лучом, проведенным из центра рассматриваемого объекта к краю отверстия объектива (рис. 3). Угол, равный 2ϑ называют апертурным углом микроскопа.

В случае освещения препарата с помощью конденсора сходящимся пучком света разрешающая способность увеличивается. Предел разрешения α при этом вдвое меньше (т.е. можно различать более мелкие детали).

$$\alpha = \frac{\lambda_0}{2n \cdot \sin \vartheta} \quad (5)$$

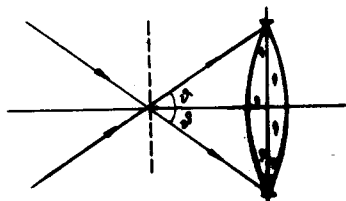


Рис. 3. Апертурный угол.

Для повышения разрешающей способности уменьшают длину волны света – используют микроскопирование в ультрафиолетовом свете. Оптические детали микроскопа тогда изготавливаются из кварца, не поглощающего ультрафиолетовые лучи, изображение или фотографируется, или проецируется на люминесцентный экран.

Другой путь увеличения разрешающей способности – увеличение числовой апертуры. Для этого используют иммерсионные объективы. Это такие объективы, при использовании которых пространство между препаратом (покровным стеклом препарата) и фронтальной линзой объектива заполняется жидкостью с показателем преломления близким по величине показателю преломления стекла (глицерин: $n = 1,45$, монобромнафталин $n = 1,65$, кедровое масло $n = 1,515$ и др.). Ход световых лучей в "сухом" и иммерсионном объективах для сравнения показан на рис. 4.

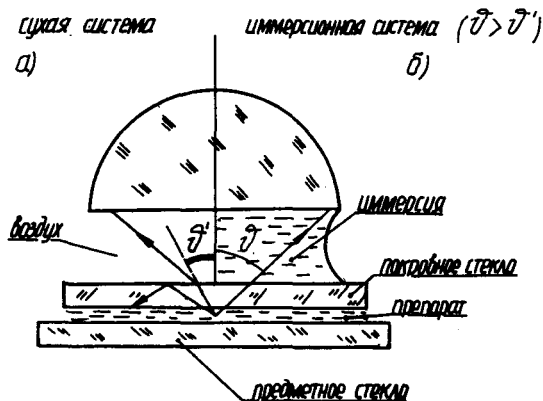


Рис. 4. Ход лучей в "сухом" и иммерсионном объективах.

При наличии между покровным стеклом и объективом воздуха (рис. 4,а), лучи падающие из конденсора под углом большим предельного угла, испытывают на границе стекло – воздух полное внутреннее отражение и не попадают в объектив. Отражение происходит также и от передней поверхности линзы, на которую лучи падают под относительно большим углом.

При наличии иммерсионной жидкости (рис. 4,б) свет от

препарата до объектива проходит по оптически однородной среде и не дает потерь на отражение. Это дает возможность работать с более широким световым конусом. Яркость изображения и разрешающая способность значительно увеличиваются.

Числовая апертура современных микроскопов с сухим объективом достигает значения 0,95. Для иммерсионного объектива при $n = 1,5$ числовая апертура $\approx 1,4$.

В случае визуального наблюдения существенно понятие полезного увеличения микроскопа. Из формулы для увеличения микроскопа видно, что при надлежащем выборе f_1 и f_2 увеличение микроскопа будет сколь угодно большим. В практике же редко используют увеличения превышающие значения 1500–2000. Почему это так, рассмотрим ниже. Допустим предмет имеет размер, равный пределу разрешения d' . Если на расстоянии наилучшего зрения размер его изображения d'' , то увеличение

$$K = \frac{d''}{d'}$$

Подставим сюда выражение (5) для предела разрешения. Тогда

$$K = \frac{Ad'}{0,5\lambda_0} \quad (6)$$

Как уже отмечалось, нормальный глаз в предельном случае различает две точки объекта, угловое расстояние между которыми равно $1'$. Удобная различимость для глаза от $2'$ до $4'$, что соответствует значениям размера изображения (на расстоянии наилучшего зрения) от 140 до 280 мкм. Подставляя эти значения, а также $\lambda_0 = 0,555$ мкм в формулу (6), находим интервал значений увеличения микроскопа

$$500 A < K < 1000 A.$$

Эти увеличения и будут полезными, так как при этих увеличениях глаз различает все элементы структуры, которые разрешает микроскоп. Подставив числовую апертуру, например, масляной системы, которая в современных микроскопах достигает значений 1,4, получим для увеличения

Большее увеличение называется бесполезным увеличением. Бесполезное увеличение нежелательно, так как оно сопровождается увеличением аберраций и уменьшением яркости поля зрения.

Устройство микроскопа. Промышленность, в соответствии с очень разнообразными надобностями в применении микроскопов выпускает эти приборы с очень разными характеристиками – от простых школьных до универсальных электронных микроскопов, представляющих комплект сложнейшей аппаратуры.

Мы ознакомимся в нашей лаборатории с простым микроскопом (рис.5) серии "Биолам" типа С-II (студенческий измерительный) с максимальным увеличением 1500.

В устройстве любого микроскопа можно выделить механическую и оптическую части. Механическая часть микроскопа состоит из штатива, тубуса, предметного столика, креплений осветительной системы.

Оптическая часть микроскопа состоит из двух систем: осветительной (оптические детали осветителей, зеркало, конденсор) и наблюдательной (объектив, призма, окуляр).

Штатив имеет массивное основание 1 (рис. 5), придающее прибору нужную устойчивость. Колонка 2 штатива укреплена неподвижно или для удобства работы с прибором может наклоняться. В простой модели в тубус (3) микроскопа непосредственно вставляется окуляр (4) и ввинчивается объектив (5). В биологическом микроскопе к тубусу прикреплен револьвер 6 – особый держатель который несет в себе от двух до четырех объективов и позволяет их быстро менять. Отверстия для объективов на револьвере отцентрированы относительно оси тубуса. Правильное положение объективов обеспечивается фиксатором (защелкой), расположенным внутри револьвера. Тубус в целом связан с колонкой с помощью салазок и может перемещаться, для чего имеются механизмы грубой и точной фокусировки (рукоятки 7,8 на рис. 5). В школьном микроскопе имеется только один механизм фокусировки. Предметный столик 9 служит для поддержания препарата. Препарат прижимают к столику пружинами.

В школьном микроскопе пучок света (дневного или от осветителя) зеркалом (10) направляют на препарат и далее в наблюдательную систему микроскопа. В биологическом микроскопе в осветительную систему входит еще конденсор II (рис. 5)

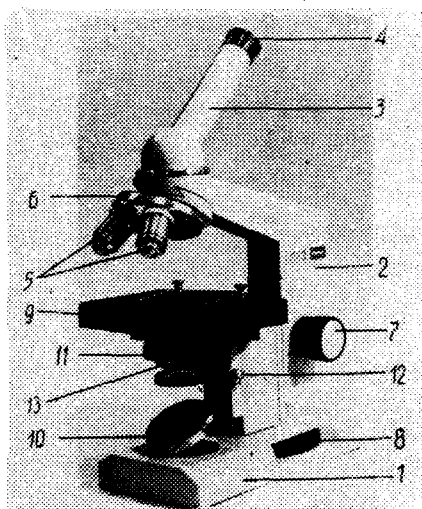


Рис. 5. Биологический микроскоп С - II.

1 - основание штатива, 2 - колонка штатива, 3 - тубус, 4 - окуляр, 5 - объектив(ы), 6 - револьвер, 7, 8 - рукоятки фокусировки, 9 - предметный столик, 10 - зеркало, 11 - конденсор, 12 - рукоятка перемещения конденсора по вертикали, 13 - ирисовая диафрагма.

Кронштейн, в котором крепится конденсор (конденсор КОН-3 в микроскопе С-II) может перемещаться вверх-вниз с помощью рукоятки 12. Подъем кронштейна с конденсором ограничен упором и в его крайнем верхнем положении между плоскостью предметного столика и фронтальной линзой конденсора остается небольшой зазор. В крайнем верхнем положении числовая апертура конденсора равна 1. Если зазор между фронтальной линзой конденсора

и предметным стеклом заполнить иммерсионным маслом, то апертура составит 1,2. Конденсор КОН-3 снабжен ирисовой диафрагмой 13. Эта диафрагма является апертурной диафрагмой микроскопа (т.е. она в самой большой степени ограничивает световой пучок проходящий через микроскоп). Ирисовая диафрагма открывается и закрывается с помощью рычажка. Откидная линза используется при работе с объективами малого увеличения $3,5^{\times}$ и 8^{\times} . Откидная рамка в нижней части конденсора служит для установки светофильтра или матового стекла.

Важнейшей частью микроскопа является объектив. Объективная система линз, заключенных в одну оправу. Передняя так называемая фронтальная линза является главной и единственной производящей увеличение, остальные же служат лишь для исправления недостатков изображения.

Окуляр представляет собой сложную лупу, состоящую обычно из двух линз: верхней глазной и нижней собирающей, отстоящих друг от друга на расстоянии, равном полусумме их фокусных расстояний. Обе линзы заключены в цилиндрическую трубку, которая вставляется в тубус.

Отклонение лучей от вертикали в микроскопе обеспечивается призмой (в микроскопах с наклонным тубусом).

Микроскоп С-II имеет объективы с увеличением и числовой апертурой $8 \times 0,20$, $40 \times 0,65$, $90 \times 1,25$ (масляная иммерсия, и окуляры 7^{\times} и 15^{\times}).

Некоторые общие указания к работе с микроскопом. Качество изображения в микроскопе в значительной степени зависит от освещения. При работе с сухими объективами небольшого и среднего увеличения пользуются естественным светом или простыми осветителями. В ответственных работах с микроскопом сложной модели с использованием иммерсионных объективов или фазовоконтрастного устройства рекомендуется использовать специальные осветители.

При естественном освещении микроскоп располагают на расстоянии 1 м от окна (лучше выходящего на север). С помощью зеркала направляют свет от яркого облака в микроскоп (синее небо дает мало света) и наклоном зеркала добиваются наиболее яркого и равномерного освещения поля зрения. Следует избегать попадания в микроскоп прямых солнечных лучей. Если микроскоп

имеет конденсор, то следует использовать только плоскую поверхность зеркала.

При освещении препарата светом упрощенного искусственного осветителя для получения более равномерного освещения перемещают патрон лампы и вращают лампу вокруг оси. Можно ввести матовое стекло или дополнительную линзу — конденсора.

Нельзя снижать яркость поля зрения опусканием конденсора, поскольку при этом уменьшается апертура. Конденсор должен быть поднят до упора. Для снижения яркости можно уменьшить напряжение накала нити лампы.

Выбор раскрытия апертурной диафрагмы зависит от вида препарата. Диафрагма выбирается, так чтобы изображение препарата получилось наиболее контрастным. При слишком открытой апертурной диафрагме контрастность изображения обычно снижается.

Необходимые для работы объективы следует вернуть в револьвер, располагая их в порядке возрастания увеличения (от слабого к более сильному) по часовой стрелке, если смотреть на штатив микроскопа сверху при его рабочем положении.

Предназначенный к изучению участок препарата отыскивают вначале, пользуясь самым слабым объективом.

Перемещая препаратное стекло рукой, располагают этот участок точно в центре поля зрения. При переходе к более сильному объективу в этом случае нужный участок препарата не выйдет из поля зрения. С каждым из объективов можно менять любой окуляр. Лучше вначале взять окуляр с наименьшим увеличением.

Объектив не должен соприкасаться с поверхностью препарата или пружиной зажима во избежание повреждения поверхности фронтальной линзы.

Поскольку загрязнение или запыление оптических поверхностей ведет к ухудшению яркости изображения, то следует установить локализацию пыли и грязи. Изображения частичек пыли, локализованных в окуляре, вращаются вместе с окуляром при его повороте. Загрязнение объектива устанавливается при рассмотрении его на свет. Частички пыли можно удалить специальной мягкой кисточкой. Грязь удаляют ваткой, смоченной бензином или эфиром. Объективы можно разбирать и очищать

только в оптической мастерской. Во избежание попадания пыли в микроскоп всегда следует оставлять в тубусе окуляр или надевать на тубус колпачок.

А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ЧИСЛОВОЙ АПЕРТУРЫ И РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МИКРОСКОПА

Задание

Измерить увеличение и апертурный угол микроскопа. Вычислить числовую апертуру, предел разрешения и разрешающую способность.

Ход работы

Определение увеличения микроскопа. Воспользуемся для определения увеличения простым методом, который дает удовлетворительные результаты только в случае не очень больших увеличений. Поэтому для выполнения опыта используем микроскоп простой конструкции. Вставляем в верхний конец тубуса микроскопа окуляр и ввинчиваем в нижний конец объектив из приложенного к работе комплекта с принадлежностями. На предметный столик помещаем объект – стеклянную пластинку с нанесенной на нее шкалой с делениями в 0,1 мм. С помощью осветительного зеркала направляем свет на объект, используя для освещения дневной свет от яркого участка неба или специальный осветитель. Далее фокусируем микроскоп на резкое видение штрихов шкалы, перемещая тубус рукоятки фокусировки.

Сбоку от микроскопа на расстоянии наилучшего зрения (25 см) от его оси, ставим вертикальную шкалу с делениями в 1 мм. На окуляр микроскопа помещаем наклоненное к оси при-

бора под углом в 45° полупрозрачное зеркало и устанавливаем глаз и зеркало, так чтобы одновременно видеть как изображение шкалы, лежащей на предметном столике, так и изображение вертикальной шкалы, возникающее в зеркале. Эти шкалы должны иметь примерно равную освещенность, чего можно добиться изменением наклона зеркала (боковая шкала должна быть хорошо освещена).

Отсчитаем число n_1 целых делений боковой шкалы, соответствующее с целым числом n_2 делений изображения шкалы на предметном столике. Поскольку отношение длины делений первой вышеупомянутой шкалы ко второй $m = 10$, то увеличение можно найти по формуле:

$$K = \frac{n_1}{n_2} m = \frac{n_1}{n_2} 10.$$

Определение числовой апертуры и вычисление разрешающей способности. На практике числовую апертуру простым методом можно определить также для микроскопов с небольшим увеличением. Задача сводится к определению апертурного угла. На предметный столик микроскопа помещаем пластинку с небольшим отверстием.

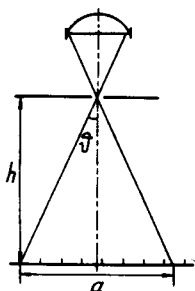


Рис. 6. К определению апертурного угла 2θ .

Фокусируем микроскоп на отчетливое видение отверстия (причем устанавливаем пластинку, так чтобы изображение от-

версия приходилось в центр поля зрения). Поворачиваем осветительное зеркало в горизонтальное положение и на него помещаем отрезок пластмассовой шкалы с четкими черными штрихами (цена деления шкалы 1 мм). Шкалу нужно хорошо осветить. Не нарушая фокусировки, осторожно вынимаем окуляр микроскопа из тубуса. Смотрим в тубус невооруженным глазом и стараемся увидеть отчетливое изображение шкалы находящейся на зеркале. Определяем число делений, видимых через отверстие и выражаем видимый отрезок α шкалы (см. рис. 6) в единицах длины. Измеряем также с помощью линейки расстояние h от пластинки с отверстием до шкалы. Величину A можем найти, вычислив предварительно $\tan \vartheta = \frac{0,5\alpha}{h}$. Находим по математическим таблицам величины ϑ и $\sin \vartheta$.

В случае сухого объектива $n=1$ и числовая апертура микроскопа равна

$$A = \sin \vartheta.$$

Вычисляем предел разрешения α' микроскопа в зависимости от способа освещения по формулам (5) или (4) введения, взяв $\lambda_0 = 0,555$ мкм, и разрешающую способность $1/\alpha'$.

Все результаты измерений и данные вычислений заносим в протокол.

Контрольные вопросы и задания.

1. Дайте определение оптической силы линзы.
2. Как зависит фокусное расстояние тонкой линзы от радиуса кривизны поверхности линзы и от показателя преломления среды?
3. Покажите двумя лучами, как собирающая линза формирует увеличенное, уменьшенное и мнимое изображения объекта. Изобразите ход лучей в случае плоского зеркала.
4. Опишите основные виды аберраций линз.
5. Возможно ли использовать микроскоп при фотографировании микрообъектов?

Б. ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ МИКРОСКОПА

Задание

Проградуировать шкалу окулярного микрометра. Измерить толщину волоса.

Принадлежности

Биологический микроскоп С-II, окулярный микрометр МОВ, объект-микрометр ОМП, предметное стекло с объектом.

Описание установки. Промышленность выпускает измерительные микроскопы, которые имеют в окуляре стеклянную пластинку со шкалой. Если поместить неподвижный объект на предметный столик, то изображение возникает в плоскости шкалы. Глядя в окуляр отсчитывают, сколько делений шкалы укладывается на изображении объекта. Шкала предварительно градуируется.

Микроскоп С-II не имеет подобного устройства. Для определения линейных размеров здесь можно использовать окулярный микрометр винтовой (МОВ), МОВ представляет из себя (см. рис. 7). неподвижную шкалу с миллиметровыми делениями и стеклянную пластинку, заключенную в рамку, которую можно перемещать микрометрическим винтом.

На пластинку нанесены косой крест и двойной штрих, перпендикулярный направлению перемещения пластинки. Один оборот барабана соответствует перемещению штриха на 1 мм. Барабан разделен на 100 частей, т.е. смещение креста можно отсчитать с точностью до 0,01 мм. Неподвижная шкала используется как вспомогательное устройство для счета полных оборотов винта. Какой из двух индексов использовать, зависит от объекта. При измерении диаметра круглого объекта целесообразно использовать одну прямую двойного штриха, установив ее

в виде касательной к окружности отверстия. Если изображения концов объекта представляют прямые пересекающиеся с осью микрометра, то используют двойной штрих, поскольку глаз человека оценивает точнее равенство расстояний от одной линии до двух близколежащих линий, чем момент совпадения двух прямых. Перекрестие используют при измерении длины прямых отрезков, наклонных относительно двойного штриха.

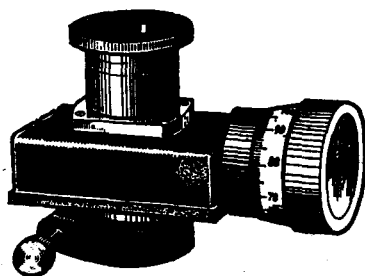


Рис. 7. Окулярный микрометр.

Окулярный микрометр надевают на тубус микроскопа вместо окуляра и закрепляют винтом. Отсчитывая перемещение перекрестия или двойного штриха относительно изображения объекта, расположенного на предметном столике, можно оценить размеры изображения в делениях шкалы окулярного микрометра. Обозначим это число делений через N' .

Для того чтобы перейти к размерам самого объекта, поступают следующим образом. Вместо исследуемого объекта на предметный столик помещают устройство называемое объект-микрометром (ОМ). Объект-микрометр — это шкала со 100 делениями, нанесенная на стеклянную пластинку, покрытую стеклом. Пластинка заклеена в отверстии стальной рамки. Цена деления шкалы 0,01 мм. Ширина штрихов шкалы $0,002 \pm 0,001$ мм; при чтении длины отрезков следует делать отсчет по одной и той же стороне штриха или по середине штриха. Допустимая погрешность одного деления 1 мкм, 10 делений 2 мкм, 100 делений

3 мкм.

Поместив объект-микрометр на предметный столик вместо объекта, оценивают цену деления окулярного микрометра, для чего отсчитывают число N делений шкалы окулярного микрометра, приходящееся на отрезок l шкалы объект-микрометра. Цена деления составит (выразим в миллиметрах) $\alpha = l/N$.

Эта цена деления справедлива только для объектива микроскопа, с которым мы производили измерения.

Линейный размер объекта найдется теперь по формуле :

$$x = \alpha \cdot N'$$

или

$$x = l \cdot \frac{N'}{N} \quad (4)$$

Ход работы

Прежде, чем приступить к измерениям, следует ознакомиться с назначением всех частей, и так же ручек перемещения и фокусировки микроскопа. Оптические стеклянные поверхности не следует трогать руками!

1. Револьвер микроскопа с помощью винта грубой фокусировки поднимаем по возможности вверх, чтобы было удобно ввинтить объектив. Ввинчиваем объектив 8 x 0,20 и поворачиваем револьвер до щелчка, чтобы ось объектива совпала с оптической осью микроскопа в целом. На тубусе микроскопа закрепляем окулярный микрометр. В качестве объекта используем обычный человеческий волос. Отрезок волоса помещен на предметном стекле и покрыт покровным стеклом. Предметное стекло с объектом помещаем на предметном столике.

Для освещения препарата можно использовать дневной свет (если его достаточно) или использовать простой осветитель, питающийся от сети переменного тока (220 В). Свет в конденсор направляем с помощью зеркала (используется плоская сторона).

2. Получаем изображение объекта в микроскопе. Для этого постараемся перемещением предметного стекла установить волос под центром объектива. Далее осторожно, смотря сбоку на объектив, приближаем объектив к препарату (расстояние до препарата 2–3 мм) с помощью рукоятки грубой фокусировки. Затем очень медленно поднимаем тубус рукояткой грубой фокусировки, стараясь отыскать изображение объекта. Получив изображение объекта уточняем фокусировку, вращая диск точной фокусировки. Помните, что при вращении регуляторов фокусировки по часовой стрелке, тубус перемещается вниз, при вращении против часовой стрелки – вверх. Полный оборот микрометрического винта точной фокусировки перемещает тубус на 0,1 мм.

Будьте осторожны, не раздавите препарат! Соприкосновение объектива с покровным стеклом ведет к порче дорогостоящего объектива.

Волос может не попадать в поле зрения микроскопа. Но покровное стекло имеет царапины, на нем содержатся пылинки, что позволит совершить примерную фокусировку. Перемещением предметного стекла добиваемся попадания отрезка волоса в центр поля зрения микроскопа. Предметное стекло закрепляем зажимом. Уточняем фокусировку и подбираем контрастность регулировкой диаметра апертурной диафрагмы.

3. Определяем диаметр волоса в делениях окулярного микрометра, используя двойной штрих или перекрестие, исходя из указаний, данных выше. Барабан микрометра при снятии отсчета вращаем только по часовой стрелке.

4. Поднимаем револьвер с объективом, вместо предметного стекла помещаем на предметный столик объект-микрометр ОМ. Отыскиваем, соблюдая выше перечисленные меры предосторожности, изображение микрошкалы, определяем число делений барабана окулярного микрометра, приходящееся на отрезок микрошкалы длиной l (отрезок l целесообразно взять возможно большим, но укладывающимся в $2/3$ поля зрения).

5. Вычисляем линейные размеры объекта – диаметр волоса в миллиметрах.

Найдем погрешность измерения, считая, что ошибка определения числа делений N (и N') составляет 0,5 деления. Погрешность отрезка l , возьмем согласно выше приведенным

данным о погрешности делений объект-микрометра.

Литература

1. А.Н. Ремизов. Медицинская и биологическая физика. М. "Высшая школа". 1987, с. 456-461, 463-472.
2. Н.М. Ливенцев. Курс физики. М. "Высшая школа". 1974, с. 435-449.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ РЕФРАКТОМЕТРА АББЕ

Задание

Ознакомиться с устройством и принципом работы рефрактометра Аббе. Определить зависимость показателя преломления раствора от концентрации. Найти концентрацию неизвестного раствора.

Принадлежности

Рефрактометр ИРФ-454, растворы, дистиллированная вода, палочка для нанесения раствора на призму, вата, спирт.

Введение

Преломление световых волн на границе двух сред. При переходе из одной среды в другую изменяется скорость распространения световой волны. Если световые лучи падают на границу раздела двух сред под некоторым углом, то направление их во второй среде тоже изменяется (или как говорят — лучи преломляются). Согласно закону преломления преломленный луч OB (рис. 1) лежит в одной плоскости с падающим лучом AO и перпендикуляром ON к плоскости соприкосновения сред, восстановленным из точки падения луча. Отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β для данной пары сред — величина постоянная

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{12} \quad (1)$$

Величину n_{12} называют относительным показателем преломления второй среды (куда свет переходит) по отношению к первой. Показатель преломления какого-либо вещества относительно вакуума, называют абсолютным показателем преломления*.

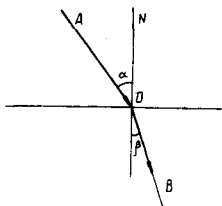


Рис. 1. Преломление лучей света на границе двух сред.

Можно показать, что относительный показатель преломления двух веществ равен отношению абсолютных показателей преломления этих веществ. Если абсолютные показатели преломления первого и второго веществ n_1 и n_2 соответственно, то относительный показатель преломления второго вещества по отношению к первому

$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (2)$$

Практически очень часто (что и целесообразно) измеряют показатели преломления веществ относительно воздуха. Абсолютные показатели преломления больше последних примерно в 1,0003 раза. В таблицах обычно приводятся абсолютные показатели преломления.

Вещество с более высоким показателем преломления в сравнение с показателем рассматриваемого вещества называют оптически более плотным. Рассмотрим переход луча света в оптически более плотную среду (рис. 2а). Из двух выше приведенных формул следует непосредственно, что в этом случае угол преломления меньше угла падения (за исключением нормального

* Слово "абсолютный" часто опускают и просто говорят о показателе преломления данного вещества, имея ввиду, что он определен относительно вакуума.

падения, когда направление распространения волны не изменяется, а изменяется только скорость): $\beta < \alpha$. Наибольший угол преломления β_m отвечает углу падения $\alpha = 90^\circ$ (лучи 2 и 2').

На границе сред справедливо свойство обращения световых лучей. Если свет падает на границу раздела двух сред со стороны оптически более плотной среды, то угол преломления α всегда больше угла падения света β (рис. 2б). Углу падения β_m соответствует угол преломления $\alpha = 90^\circ$. Если угол падения $\beta > \beta_m$, то свет полностью отражается в оптически более плотную среду. Это явление называют явлением полного внутреннего отражения.

В обоих рассмотренных случаях выполняется условие

$$\sin \beta_m = \frac{n_1}{n_2}$$

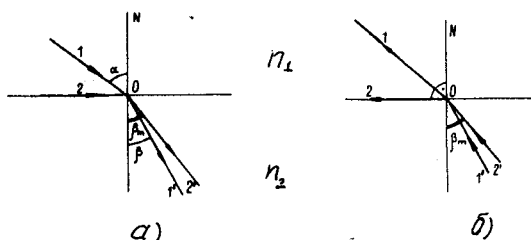


Рис. 2. Преломление лучей при переходе
а - в оптически более плотную среду
б - менее плотную среду.

На явлении полного внутреннего отражения основана волоконная оптика. Свет, попадая внутрь прозрачного волокна, окруженного веществом с меньшим показателем преломления, многократно отражается и распространяется вдоль этого волокна. Из отдельных волокон составляются световоды, по которым можно передавать свет и изображения по криволинейным траекториям (рис. 3).

Световоды находят применение в медицинских аппаратах (например в эндоскопе – приборе, служащем для осмотра внутренних полостей и в гастроскопе, который позволяет также делать и снимки с целью диагностики. Используя волоконную оптику, удалось свет от лампочки передавать внутрь органа по световоду, тем самым избегая нежелательного нагревания этого органа, которое неизбежно возникало при помещении источника света внутри полости в эндоскопах прежней конструкции. Кроме того, что самое главное, гибкость волоконно-оптических систем допускает осмотр большей части полостей, чем жесткие эндоскопы.

С помощью световодов предполагается передача лазерного излучения во внутренние органы с целью лечебного воздействия на опухоли.

На измерении предельного угла преломления, а также явлении полного отражения основывается работа рефрактометров – приборов для определения показателя преломления прозрачных веществ.



Рис. 3. Распространение света в волокне.

В медицине рефрактометры используют для определения концентрации веществ в растворе (например белка в сыворотке крови), что возможно, благодаря зависимости показателя преломления раствора от концентрации растворенного вещества.

Устройство и принцип работы рефрактометра Аббе. Основными частями рефрактометра Аббе служат призмы (P_1 и P_2), компенсатор и зрительная труба (рис. 4). Призму P_2 называют измерительной призмой. Она изготовлена из тяжелого флинта, показатель преломления которого 1,74. Грани призмы повернутые к зрительной трубе и призме P_1 , тщательно отполированы. Грань призмы P_2 , повернутую к P_1 , называют входной гранью. Призма P_1 является осветительной призмой. Ее грань, обращенная к призме P_2 , матовая. Сорт стекла, из которого изготовлена осветительная призма, не играет роли.

Исследуемая жидкость помещается между призмами, где она образует тонкий плоскопараллельный слой (см. рис. 5). Свет в рефрактометр Аббе направляется при помощи зеркала через полированную грань осветительной призмы. Матовая грань осветительной призмы рассеивает свет в жидкость во всех направлениях. Пройдя тонкий слой жидкости, свет падает на входную грань измерительной призмы под всеми углами от 0° до 90° (лучи 1,2,3). Углы преломления в измерительной призме

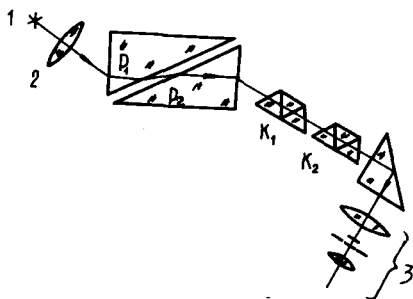


Рис. 4. Схема рефрактометра Аббе.

1 - источник света, 2 - конденсор,
 P_2 - измерительная призма, P_1 - осветительная
 призма, K_1 и K_2 - призмы прямого зрения ком-
 пенсатора, 3 - зрительная труба, снабженная
 перекрестием.

будут меняться от 0° до некоторого определенного предельного значения β_m (луч 3), которое, как показывалось выше, зависит от показателей преломления жидкости и вещества измерительной призмы. Для появления неосвещенной части вещество призмы должно быть оптически более плотным, чем жидкость.

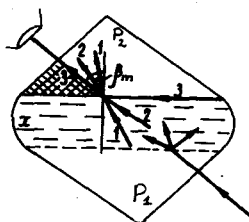


Рис. 5. Преломление на границе жидкость – призма P_2 .

При выходе из измерительной призмы лучи преломляются еще раз и направляются в зрительную трубу, сфокусированную на бесконечность. Если зрительная труба помещена так, что направление ее оптической оси совпадает с направлением лучей, преломленных под предельным углом, то одна часть поля зрения будет освещена, а другая – затемнена (см. рис. 6). Предоставляем студентам показать это, сконструировав подробный ход лучей в рефрактометре Аббе.

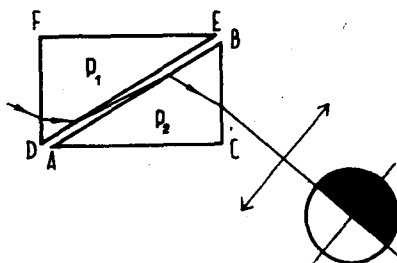


Рис. 6. Ход лучей в измерительной головке рефрактометра Аббе при измерении методом скользящего луча.

При замене одной жидкости другой меняется и значение предельного угла. Для того, чтобы каждый раз восстановить прежнюю картину в окуляре (часть поля зрения освещена, часть затемнена), следует каждый раз заново совместить ось зрительной трубы с направлением лучей, преломленных под предельным углом. Таким образом, по относительному положению зрительной трубы и измерительной призмы можно судить о показателе преломления жидкости.

Для быстрого и точного определения показателя преломления, зрительная труба содержит перекрестие, которое помогает фиксировать видимую в окуляр границу темного и светлого частей поля зрения, а шкала, которая показывает взаимное положение измерительной призмы и зрительной трубы, проградуирована непосредственно в единицах показателя преломления. Описанный метод определения показателя преломления называют методом скользящего луча.

Можно измерять показатель преломления методом полного внутреннего отражения (см. рис. 7). Тогда измерительную призму P_2 освещают со стороны ее матовой грани AC . В этом

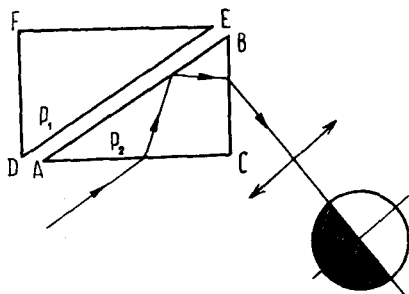


Рис. 7. Измерение показателя преломления методом полного внутреннего отражения.

случае свет падает на полированную грань AB под любыми углами от 0° до 90° . Если угол падения $\beta > \beta_m$, происходит

полное внутреннее отражение, если же $\beta < \beta_m$, то происходит частичное отражение. В зрительной трубе в этом случае видна граница между светлой и темной частями поля. Поскольку условия для предельного угла в обоих случаях одинаковы, то граница возникает при том же показании шкалы. Методом полного внутреннего отражения можно измерять показатели преломления и непрозрачных веществ.

Приведенное выше описание рефрактометра Аббе соответствует случаю освещения монохроматическим светом. При использовании немонохроматического источника света (например, дневного света) граница темной и светлой частей поля будет окрашена. Это происходит потому, что показатели преломления и жидкости, и призмы зависят от длины волны.

Чтобы было возможно выполнять измерения в немонохроматическом свете, рефрактометр Аббе снабжают компенсатором дисперсии. Компенсатор состоит из двух призм прямого зрения. Каждая призма прямого зрения состоит из трех склеенных между собой призм, которые выбраны так, чтобы желтые лучи проходили систему не изменяя своего направления. Лучи света более длинноволновые будут отклоняться в одну сторону, коротковолновые - в другую сторону (относительно желтых лучей). Таким образом, призмы прямого зрения разложат свет в спектр.

Если одновременно вращать обе призмы в противоположных направлениях, то суммарная угловая дисперсия полного компенсатора будет изменяться, поскольку она зависит от дисперсии обеих призм прямого зрения; дисперсия проходит все значения от максимального положительного до соответствующего отрицательного значения. При полной компенсации дисперсии граница света и тени перестает быть окрашенной и ее положение соответствует границе, возникающей при освещении желтым светом ($\lambda_D = 589_{\text{нм}}$).

Ход работы

Как уже говорилось выше, в медицине рефрактометры используются для определения концентрации вещества в растворе. Ход зависимости показателя преломления от концентрации ка-

кого-либо конкретного вещества в растворе может быть установлен опытным путем. Для этого изготавливают набор растворов с известными концентрациями и измеряют соответствующие коэффициенты преломления (значения концентраций должны охватывать равномерно весь интересующий исследователя интервал). На основании этих результатов строят график зависимости $n_D = f(C\%)$. Незвестную концентрацию вещества находят по графику согласно измеренному значению показателя преломления для этого раствора. Поскольку коэффициент преломления жидкости зависит от температуры, то при точных измерениях следует использовать термостатирование призм и исследуемых жидкостей. В этом случае рефрактометры соединяют с циркуляционным термостатом и температуру контролируют по термометру. В нашем случае термостат не используется. Все измерения выполняются при комнатной температуре.

Для измерения коэффициентов преломления в лаборатории используется рефрактометр ИРФ-454, представленный на рисунке 8.

Измерение показателя преломления прозрачных жидкостей рефрактометром ИРФ-454 осуществляется по методу "скользящего" луча. Несколько капель жидкости помещают между призмами рефрактометрического блока, блок закрывают на защелку. Свет направляют через окно осветительной призмы. Вращением маховика установки границы светотени находят границу (верхняя часть поля зрения освещена, нижняя - затемнена), ликвидируют с помощью компенсатора цветную окраску границы, наводят границу точно на перекрестие и по шкале показателей преломления делают отсчет значения n_D - показателя преломления жидкости для линии $\lambda_D = 589 \text{ нм}$.

Порядок выполнения измерений следующий:

- ознакомьтесь с расположением ручек управления рефрактометра, пользуясь рис. 8;
- открыв окно 7 и закрыв окно 8, направьте свет от лампы на осветительную призму;
- наблюдая в окуляр шкалу показателей преломления, поворотом зеркала 3 установите её достаточное освещение; наведите окуляр на резкое видение шкалы и перекрестия;

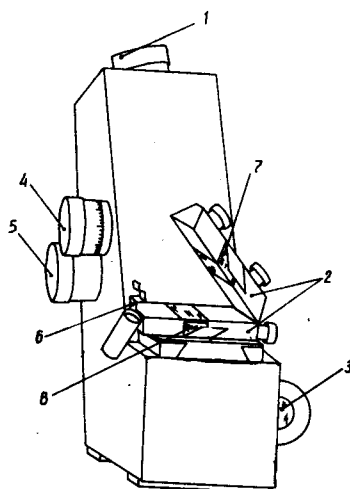


Рис. 8. Рефрактометр ИРФ-454.

1 - зрительная труба, 2 - рефрактометрический блок, 3 - зеркало для освещения шкалы, 4 - маховик компенсатора, 5 - маховик для установки границы светотени, 6 - рукоятка для откидывания осветительной призмы, 7 - окно осветительной призмы, 8 - окно измерительной призмы.

- ваткой, смоченной спиртом или эфиром, очистите поверхности призм. Очистку выполняйте легким нажатием ватки, ни в коем случае нельзя касаться поверхностей призм твердым предметом;

- нанесите на поверхность измерительной призмы несколько капель дистиллированной воды (для нанесения жидкости используйте "соломинку", приложенную к набору растворов). Осторожно закройте рефрактометрический блок (на защелку тоже);

- вращением маховичка 5 отыщите границу раздела (ориентируйтесь на показание шкалы $n_D = 1,333$, что справедливо для дистиллированной воды). Если граница раздела полей имеет изгиб или другие дефекты, следует добавить несколько капель жидкости и снова прижать призмы;

- вращением маховичка 4 ликвидируйте окрашенность границы раздела полей;

- установите линию раздела на перекрестие и снимите отсчет показателя преломления. Десятичные доли n_D отсчитайте "на глаз". Операцию наведения на перекрестие следует выполнять не менее 3 раз;

- всякий раз тщательно очищая поверхности призм, аналогичным образом измерьте коэффициенты преломления для всех растворов известной и неизвестной концентраций. Результаты измерений занесите в протокол в виде таблицы 1 (см. следующий пункт). Следует отметить, что шкала показателей преломления рассчитана для температуры 20°C . Для разных жидкостей допустимые колебания температуры будут неодинаковы из-за различия их температурных коэффициентов, концентрации, химического состава. Если измерения производятся при температурах 30° и выше, то к отсчету по шкале нужно прибавить поправку на температуру по формуле:

$$\delta = 0,072 (t - 20^{\circ}) \cdot 10^{-4}$$

Формлиение результатов.

Резуьльтаты измерений удобно занести в таблицу I.

Таблица I

Концентрация вещества %	Номер измерения	n_D	\bar{n}_D (среднее)
...	1
	2	...	
	3	...	

По нескольким результатам измерения найдите среднее значение коэффициента преломления \bar{n}_D для каждого раствора. Постройте график зависимости $\bar{n}_D = f(C\%)$. Определите по графику концентрацию неизвестного раствора.

Литература

1. Н.М. Ливенцев. Курс физики. М. "Высшая школа". 1974, с. 228-236.
2. А.Н. Ремизов. Курс физики, электроники и кибернетики. М. "Высшая школа". 1982, с. 346-348.

ОЗНАКОМЛЕНИЕ СО СПЕКТРОСКОПОМ

Задание

Ознакомиться с монохроматором УМ-2, составить градуировочную кривую, определить длины волн излучения неизвестного источника, определить полосы поглощения оксигемоглобина.

Принадлежности

Монохроматор УМ-2, спектральные лампы с источниками питания, линзы, подставка для кюветы, кювета, спектральные таблицы.

Введение

Спектры. При переходе атома или молекулы из одного стационарного состояния в другое испускается или поглощается квант энергии

$$h\nu = E_n - E_m.$$

Здесь h - постоянная Планка, ν - частота испускаемого или поглощаемого излучения, E_n и E_m - энергии стационарных состояний с номерами n и m . Если $E_n < E_m$, квант поглощается, если $E_n > E_m$ - излучается. Излучаемая атомами или молекулами энергия формирует спектр испускания (распределение энергии по частотам или длинам волн), а поглощаемая - спектр поглощения. Структура спектров обусловлена структурой энергетических уровней.

Так называемый линейчатый спектр испускания характерен для светящихся атомных газов или паров низкого давления (атомы можно в них считать не взаимодействующими между собой). Образуются эти спектры в результате электронных переходов в атомах.

Спектр излучения молекул называют полосатым. Он возникает не только в результате электронных переходов, но и в результате колебаний атомов в молекуле, а также вращений молекулы около ее центра тяжести. Каждая полоса в принципе состоит из близкорасположенных линий.

Излучение раскаленных твердых тел характеризуется сплошным спектром, т.е. непрерывным распределением по длинам волн. Известно, что при образовании твердого тела однотипные электронные уровни, сближаясь образуют зоны, в которых количество возможных переходов значительно превышает число переходов для отдельно существующих атомов. В сплошном спектре все цветные полосы непрерывно переходят от одной к другой.

Газы, пары, твердые тела непрерывно излучают, если значительная часть атомов или молекул в них переводится в возбужденное состояние за счет какого-либо процесса также непрерывно. Возбуждение может осуществляться путем столкновения атомов или молекул с ускоренными заряженными частицами (газоразрядные источники), за счет повышения температуры (спирали ламп накаливания), а также воздействия электромагнитного излучения с частотами, соответствующими частоте переходов между энергетическими состояниями (облучение светом).

Спектр поглощения возникает при прохождении белого света через различные вещества, поглощающие из белого света отдельные спектральные участки. При наблюдении света в спектроскоп на фоне сплошного спектра будут видны темные линии или полосы. Это и будет спектр поглощения исследуемого вещества.

Спектры исследуются в различных целях. По виду спектра можно идентифицировать атомы или молекулы, входящие в состав вещества, что составляет задачу качественного спектрального анализа.

Интенсивность спектральных линий определяется числом одинаковых переходов за единицу времени, т.е. определяется количеством излучающих или поглощающих атомов и вероятностью соответствующего квантового перехода. Определение концентрации химического элемента в веществе — задача количественного спектрального анализа.

По спектрам можно судить о строении атома или молекулы.

В медицинских целях эмиссионный спектральный анализ служит в основном для определения микроэлементов в тканях организма, небольшого числа атомов металлов в продуктах (гигиена), некоторых элементов в трупных тканях (судебная медицина).

Молекулярные спектры поглощения дают информацию о биологических функциональных молекулах.

Спектральные приборы. Для исследования спектрального распределения интенсивности применяются устройства, называемые спектральными приборами. Основные части любого спектрального прибора: диспергирующая система (призма или дифракционная решетка), входной и выходной коллиматоры. Свет через щель попадает на объектив входного коллиматора и далее параллельным пучком падает на диспергирующую систему. Диспергирующая система разлагает излучение на пучки с различными длинами волн. В фокальной плоскости выходного объектива получается ряд различно окрашенных изображений входной щели, образующих спектр.

В зависимости от способа наблюдения и регистрации спектров спектральные приборы могут быть подразделены на три основных типа: спектроскопы, спектрографы и спектрометры. В спектроскопах наблюдение спектров ведется визуально с помощью окуляра. В спектрографах регистрация спектров ведется с помощью фотопластинок или фотопленки, помещаемых в специальной кассете в фокальной плоскости выходного объектива. В спектрометре на выходе располагается щель, а за ней приемник излучения (фотоумножитель, фотоэлемент, фотосопротивление и т.д.). Электрический сигнал усиливается и регистрируется измерительным прибором - осциллографом, самописцем или другим устройством. Поворотом диспергирующего устройства отдельные участки спектра или линии направляют по очереди на выходную щель и далее на приемник. Оптическую часть спектрометра, которая в принципе представляет собой самостоятельный прибор служащий для монохроматизации излучения, называют монохроматором.

Устройство монохроматора УМ-2. В настоящей работе ознакомимся с устройством монохроматора УМ-2. Прибор УМ-2 служит для выделения монохроматических участков спектра в видимой и ближней инфракрасной области спектра в диапазоне длин волн 380–1000 нм. Если выходную щель в нем заменить окуляром, то прибор УМ-2 может быть использован в качестве спектроскопа.

Принципиальная схема монохроматора УМ-2 представлена на рис. 4. На этом же рисунке изображены детали сменной насадки прибора – окуляра O_k .

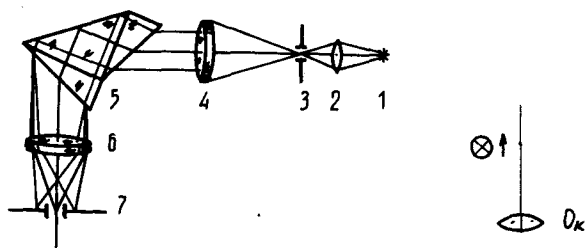


Рис. 1. Принципиальная схема монохроматора.

1 - источник света, 2 - конденсор, 3 - входная щель, 4 - входной объектив, 5 - призма Аббе, 6 - выходной объектив, 7 - выходная щель.

Свет от источника 1 через конденсор 2 и входную щель 3 падает на объектив 4 и далее параллельным пучком на призму Аббе 5 с постоянным углом отклонения 90° . В монохроматоре УМ-2 призма устанавливается так, что на выходную щель 7 выходным объективом 6 направляются те из лучей, которые образуют прямой угол с входящим световым пучком. Вследствие дисперсии этому условию удовлетворяют только лучи с определенной длиной волн. Лучи с другими длинами волн попадают левее или правее выходной щели. Для направления на выходную

щель лучей с разными длинами волн в монохроматоре УМ-2 диспергирующая призма поворачивается вокруг вертикальной оси.

На рис. 2 изображен внешний вид монохроматора УМ-2 без кожуха призмы.

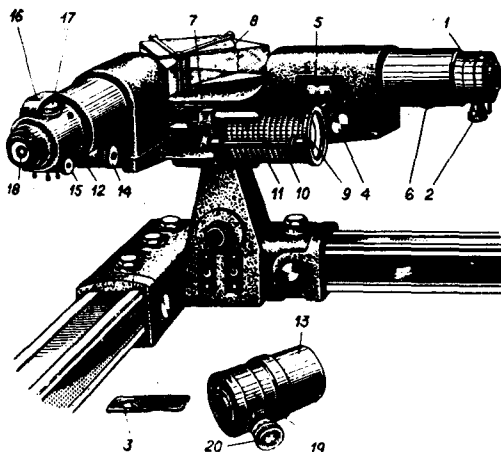


Рис. 2. Монохроматор УМ-2.

Входная щель помещена в оправу 1. Ширина щели регулируется с помощью микрометрического винта 2. Максимальная высота щели 15 мм. Высоту щели можно регулировать с помощью диафрагмы 3, помещаемой в оправу входной щели. При нормальной юстировке монохроматора изображение входной щели должно находиться в плоскости выходной щели. Ввиду того, что фокусное расстояние объективов зависит от длины волны, в монохроматоре предусмотрена фокусировка объектива коллиматора. Фокусировочное движение объектива коллиматора осуществляется с помощью маховичка 4. Положение линзы определяется по шкале в окошке 5.

В трубе коллиматора, между щелью и объективом помещен затвор, с помощью которого можно прекратить доступ света в прибор. Рукоятка 6 управляет движением затвора.

Призменный столик 7 с призмой 8 с помощью рычажной системы соединен с микрометрическим винтом 9. На цилиндрическую головку II микрометрического винта нанесены относительные деления — градусы поворота барабана. Отсчет читается против

индекса 10, скользящего по спиральной канавке.

Сменные насадки (патрубки) обозначены цифрами 12 и 13. На рис. 2 монохроматор УМ-2 изображен с насадкой 12, превращающей прибор в спектроскоп. В этом случае в фокальной плоскости, где образуется спектр источника излучения, находится указатель. Положение указателя в поле регулируется винтами 15. Надо, однако помнить, что регулировать положение указателя в практикуме запрещается. Указатель освещается лампочкой, находящейся под колпачком 16, через сменные светофильтры в револьверной оправе 17. Таким образом, при работе в каждой области спектра указатель может быть освещен светом из этой области. Исследуемый спектр вместе с указателем наблюдается в окуляр 18.

Ход работы

Градуйрование прибора. Градуировочная кривая спектроскопа устанавливает соответствие между длинами волн спектральных линий, подведенных к указателю, и делениями шкалы на цилиндрическом барабане микрометрического винта, с помощью которого приводится во вращение призмный столик.

Для составления кривой используют источники света с известными линейчатыми спектрами (газоразрядные лампы, наполненные H, He, Hg, Na, Xe). В данной работе используем ртутную лампу. Ртутная лампа обычно представляет собой трубку или сферическую колбу с электродами, в которую внесена капля ртути. Для обеспечения зажигания разряда в трубке содержится какой-либо инертный газ. Если к электродам трубки приложить напряжение, то в инертном газе создается непрерывный разряд, капля ртути испаряется и в течение нескольких минут между электродами развивается дуговой разряд в плотных парах ртути. Спектр излучения паров линейчатый, интенсивность отдельных линий зависит от плотности паров. Имеется (при значительных давлениях) и сплошной фон, который составляет несколько процентов от интенсивности отдельных линий. Питание ламп нельзя осуществлять непосредственно от сети, потому что при увеличении температуры сопротивление лампы становится

очень малым, сила тока увеличивается настолько, что лампа может выйти из строя. Для ограничения тока поэтому всегда используют дроссели и резисторы. Используемая в нашей лаборатории лампа питается от специального блока. Трубка для безопасности заключена в кожух. Лампа дает интенсивное излучение в ультрафиолетовой области, поэтому в окошке кожуха имеется защитное стекло. Трубка вместе с кожухом закреплена в рейтере и может помещаться на рельс монохроматора.

"Зажигание" лампы осуществляется следующим образом. Соединяют провод трубки с блоком питания. Блок подключают к сети. Вращением ручки автотрансформатора устанавливают напряжение порядка 220–240 В. Если разряд в лампе загорается, сразу же уменьшают напряжение, так чтобы сила тока не превышала двух ампер (напряжение 140–160 В). По мере повышения температуры лампы сила тока будет уменьшаться, рабочий ток должен составлять около 1,1–1,2 А. Повторное зажигание разогретой лампы возможно не ранее 10 минут после ее отключения. В практикуме для пуска лампы обратитесь за помощью к преподавателю.

Измерения выполняются в следующем порядке.

Включите лампочки, освещающие указатель спектроскопа и шкалу входного коллиматора (тумблеры 19 и 20). Для их питания провод от спектроскопа должен быть подключен к выходу "3,5 В" специального блока ЭПС-11. Не подключайте шнур спектроскопа к сети! Лампочки рассчитаны на напряжение 3,5 В.

Глядя в зрительную трубу спектроскопа, убедитесь что путем смены фильтров можно поменять окраску указателя. Сфокусируйте зрительную трубу на указатель (наведите на резкость).

Установите ртутную лампу перед входной щелью монохроматора и затем включите ее. Центр окошка расположите на оптической оси входного коллиматора, входная щель должна быть хорошо освещена. Если лампа имеет достаточно большую светящуюся поверхность, то этого добиться не трудно. Для направления света от лампы на щель можно использовать и конденсор.

Убедитесь в наличии спектра ртути на выходе спектроскопа. Наведение на резкость линий спектра осуществляется путем

перемещения линзы входного коллиматора (маховичок 4). Отрегулируйте ширину входной щели монохроматора, так чтобы линии на выходе были минимально узкими, но достаточно яркими для наблюдения. Высоту щели ограничьте диафрагмой.

Добившись четкого изображения указателя и линий в красном свете, перейдите к совмещению линии в красной области спектра с острием указателя. При регистрации слабых линий ширину входной щели можно увеличить. Вращая микрометрический винт 9, подведите к указателю самую длинноволновую линию. Точное совмещение затрудняет явление параллакса, которое заключается в том, что изображение объектов, лежащих в разных плоскостях, смещаются друг относительно друга при изменении положения зрачка наблюдателя. В данном конкретном случае указатель и линия видны без параллакса, если изображение входной щели ("линия") возникает в плоскости указателя. Это условие, однако, невозможно выполнить для всех спектральных линий одновременно, поскольку фокусное расстояние линзы коллиматора зависит от длины волны.

Параллакс устраните за счет вращения маховичка 4. Одновременно следует наблюдать взаимное положение острия указателя и "линии", совершая головой колебательные движения вправо и влево. Убедившись в отсутствии параллакса, зарегистрируйте показание шкалы барабана II и запишите соответствующую этому показанию длину волны, если она известна. Длины волн и относительные интенсивности линий спектра ртути приведены в таблице, прилагаемой к работе, на рисунке, предлагаемом также к работе, указаны только самые интенсивные линии.

Нужно еще отметить следующее. Показание по шкале барабана, связанного с винтом вращающим призму, может зависеть от того, с какой стороны линия подводится к указателю (влияние "люфта" механической системы). Поэтому постарайтесь после ликвидации параллакса подвести линию к указателю только с определенной стороны (слева или справа). Сделайте в протоколе соответствующее примечание.

Описанные операции, соблюдая их очередность, повторите для всех линий, за исключением очень слабых. Цвета фильтров перед лампочкой указателя согласуйте с цветом спектральных -

линий. Результаты измерений занесите в таблицу I.

Таблица I.

Окраска и номер линии по порядку	Длина волны λ (нм)	Показание на барабане m	Показание шкалы коллиматора
кр. 1.			
2.			
...			
ж.			

Согласно рисунку спектра Hg , прилагаемому к работе, вы легко найдете самые интенсивные линии. Относительно более слабых линий в таблицу I занесите только окраску и номер по порядку. Длину волны этих линий найдете позднее при построении градуировочной кривой.

Линии в синей и фиолетовой области спектра можно наблюдать с использованием неосвещенного указателя. Выключите лампочку указателя и сфокусируйте зрительную трубу на неосвещенный указатель, который хорошо виден на сплошном фоне спектра. Далее резкие линии фиолетовой области поочередно установите на острие указателя и снимите отсчет по барабану.

По полученным данным постройте градуировочный график спектроскопа. По оси абсцисс отложите деления шкалы барабана (положение призмы), а оси ординат – длину волны линий спектра. Сначала отметьте точки, соответствующие известным интенсивным линиям и проведите примерный плавный график соответствия $\lambda = f(m)$. Далее, пользуясь измеренными значениями делений барабана для слабых линий и используя график, найдите примерные длины волн этих линий. Затем установите точные длины волн, пользуясь таблицей длин волн, прилагаемой к работе. После уточнения длин волн уточните и ход графика.

С помощью градуировочной кривой можно оценить длины

волн неизвестного источника и определить, пользуясь спектральными таблицами, со спектром какого химического элемента или соединения имеем дело. Прделаем это в следующем пункте работы.

Исследование спектра излучения неизвестной лампы. Замените ртутную лампу неизвестной лампой. Учйывая все ранее сделанные указания по настройке прибора, определите показания шкалы барабана для всех интенсивных линий спектра излучения неизвестного источника. Пользуясь градуировочным графиком, оцените длины волн. По спектральным таблицам определите, какому химическому элементу принадлежат найденные спектральные линии.

Наблюдение спектра поглощения оксигемоглобина. Если освещать молекулярные газы (пары) или слабо окрашенный раствор вещества светом со сплошным спектром, то в прошедшем свете наблюдаются темные линии и полосы. Энергия облучающего света на длинах волн, соответствующих этим участкам спектра, поглощается молекулами. Наблюдение спектров поглощения раствора обычно осуществляется по такой схеме (рис.3).

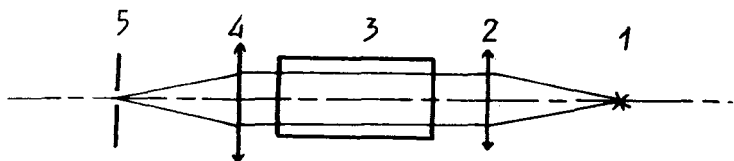


Рис. 3. Схема наблюдения спектра поглощения.

- 1 - источник, 2, 4 - линзы,
3 - кювета, 5 - щель монохроматора.

Свет от источника со сплошным спектром направляется линзой на кювету с раствором в виде параллельного пучка. Прошедший через кювету свет собирающей линзой фокусируется на щель спектрального прибора. Спектр поглощения наблюдают визуально или

фотографируют.

В данной работе предлагается ознакомиться со спектром поглощения оксигемоглобина, который образуется при разбавлении крови дистиллированной водой в соотношении 1:200 ($Hb + O_2 = HbO_2$).

Для этого установите на рельсе монохроматора рейтер с лампой накаливания (30 Вт, 12 В), подставку для кюветы и два рейтера с линзами. Подберите необходимые расстояния между рейтерами и выставите все детали по оптической оси системы. Включите лампу накаливания и, наблюдая в зрительную трубу монохроматора, вращением барабана установите в поле зрения зелено-желтую область спектра. Ширина щели монохроматора должна остаться такой же как при градуировании. Убедившись в том, что сплошной яркий спектр хорошо виден, внесите кювету с раствором в пучок света. (Кювета до заполнения раствором должна быть тщательно очищена). Если темные полосы спектра поглощения будут хорошо видны, определите положение их границ по барабану монохроматора. Оцените по градуировочному графику области поглощения в длинах волн.

Литература

1. А.Н. Ремизов. Медицинская и биологическая физика. М. "Высшая школа". 1987, с. 513-516, 521-5247

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ САХАРА В РАСТВОРЕ

Задание

Ознакомиться с явлением вращения плоскости поляризации в оптически активном веществе. Изучить устройство поляриметра. Определить содержание сахара в растворе.

Принадлежности

Поляриметры СМ-2 и СМ-3, трубки для растворов, растворы, дистиллированная вода.

Введение

Плоскополяризованный свет и его получение. В электромагнитной волне векторы напряженности электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей перпендикулярны к направлению распространения \vec{z} и друг к другу (рис. 1).

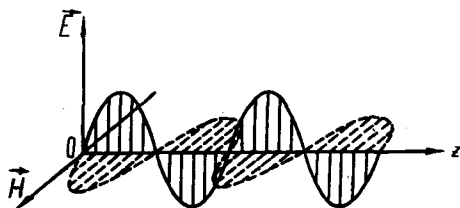


Рис. 1. Электромагнитная волна.

Электромагнитные волны с длиной волны от 380 до 760 нм воспринимаются глазом как свет. Зрительное восприятие обусловлено изменениями электрического поля волны. Химическое и

биологическое действие света на вещество также обеспечивается колебаниями напряженности электрического поля.

Плоскость, содержащую вектор \vec{E} и вектор \vec{z} называют плоскостью колебаний волны или плоскостью поляризации.*

Такие источники как Солнце, различные лампы накаливания и горелки испускают свет, в котором колебания напряженности электрического поля (соответственно и магнитного поля) происходят по всем возможным направлениям в плоскости, перпендикулярной направлению луча. Это происходит потому, что такие источники содержат миллиарды беспорядочно излучающих атомов. Свет, в котором плоскость колебаний вектора \vec{E} произвольно меняется, называют естественным светом.

С помощью специальных устройств из естественного света можно выделить компонент, в котором колебания электрического поля будут происходить только в одной конкретной плоскости. Такой свет называют плоскополяризованным. На рис. 1 в принципе изображена плоскополяризованная волна. На рис. 2а показано сечение луча естественного света в некоторый момент времени с проекциями векторов \vec{E} на плоскость, перпендикулярную лучу. На рис. 2б представлено сечение луча и проекция \vec{E} для плоскополяризованного света.

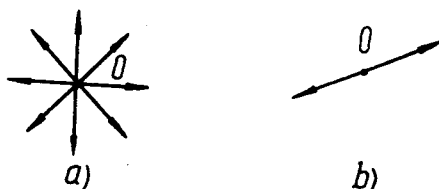


Рис. 2. Проекция вектора \vec{E} в лучах естественного и плоскополяризованного света.

В устройствах, называемых николями, плоскополяризованный свет выделяется на основании явления двойного лучепре-

* Ранее плоскостью поляризации называли плоскость, содержащую векторы \vec{H} и \vec{z} .

ломления . Призма, вырезанная определенным образом из кристаллического вещества (двойное лучепреломление характерно для исландского шпата, турмалина, герпатита и др.), раздваивает падающий на нее луч на два луча, поляризованных в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Ученый-физик Николь предложил следующий метод исключения одного из лучей. Призма из исландского шпата разрезается по короткой диагонали пополам и склеивается канадским бальзамом (смола канадской пихты), коэффициент преломления которого лежит между значениями коэффициента преломления кристалла для двух лучей, возникающих в нем. При соответствующем подборе углов призмы можно сделать так, что один из лучей полностью отражается на границе с бальзамом и выводится через боковую грань, а второй луч, уже полностью поляризованный, выходит из кристалла без изменения направления распространения.

В поляризующих устройствах, называемых поляроидами, используется явление дихроизма. Оно заключается в том, что наряду с двойным лучепреломлением, некоторые кристаллы могут поглощать один из лучей сильнее, чем другой. Например, в пластинке турмалина толщиной 1 мм один из лучей практически полностью поглощается, прошедший свет плоскополяризован.

Герпатит (серно-кислый йод-хинин) тоже обладает такими свойствами. Из мелких кристаллов герпатита выкладывают значительные поля на целлулоидной пленке. Все кристаллики ориентируются в одном направлении с помощью электрического поля. Так получают поляроиды, имеющие значительную площадь.

Плоскости, в которых поляризуется свет при прохождении николя или поляроида, называются их главными сечениями или главными плоскостями.

Принцип работы поляриметра. Пусть два поляроида расположены один за другим таким образом, что их главные сечения взаимно перпендикулярны. Ясно, что если направить луч света на первый поляроид и наблюдать через второй, то на выходе второго поляроида света в этом случае не будет. Будем вращать второй поляроид вокруг оси луча. Тогда он начнет пропускать часть света, поляризованного первым поляроидом. Мак-

симальная яркость поля зрения будет достигнута, если главные сечения обоих поляроидов расположатся параллельно друг к другу. Первый поляроид, который обеспечивает плоскую поляризацию падающего света, называют поляризатором, второй — анализатором. Обозначим интенсивность света, выходящего из поляризатора, через J_0 . На выходе анализатора будет наблюдаться свет с интенсивностью J (закон Малюса)

$$J = J_0 \cdot \cos^2 \varphi \quad (1)$$

Здесь φ — угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора.

Устройство, составленное из поляризатора и анализатора, называют поляриметром. Поляриметры используются для исследования оптически активных веществ.

Оптическая активность вещества. Некоторые твердые вещества, чистые жидкости а также растворы способны поворачивать плоскость колебаний (плоскость поляризации) проходящего через вещество или раствор плоскополяризованного света. Вещества, обладающие таким свойством, называют оптически активными. Оптически активными являются, например, кварц скипидар, растворы сахара, мочевины, липидов, белков и др. Для угла поворота плоскости поляризации света в растворе выполняется следующий количественный закон:

$$\alpha = [\alpha]_T^t \cdot C \cdot l \quad (2)$$

Здесь C — концентрация оптически активного вещества в растворе, l — толщина слоя раствора, $[\alpha]_T^t$ — коэффициент, называемый удельным вращением. Численно удельное вращение $[\alpha]$ — это увеличенный в 100 раз угол вращения плоскости поляризации слоем раствора толщиной 1 дм (10 см) при содержании активного вещества 1 г на 100 мл раствора. Значение $[\alpha]_T^t$ зависит от температуры раствора и длины волны проходящего через него света.

Соотношение (2) лежит в основе довольно чувствительного метода измерения концентрации растворенных веществ. Пово-

рот плоскости поляризации света в слое раствора с известной толщиной измеряют с помощью поляриметра. Для того, чтобы исключить влияние длины волны света на угол вращения, измерение угла выполняется в монохроматическом свете. Обычно в поляриметре с помощью фильтра выделяется свет с длиной волны 589 нм, что соответствует желтой линии натрия (D -линии λ_D). Значения удельного вращения $[\alpha]_D^{20}$ для различных веществ можно найти в справочниках, причем $[\alpha]_D^{20}$ дается в таблицах со знаком "+" или "-". Знак "+" соответствует повороту плоскости поляризации по часовой стрелке (если смотреть навстречу лучу). О таком веществе говорят как о правовращающем. Знак "-" характеризует левовращающее вещество (вращение против часовой стрелки).

В медицине метод поляриметрии (сахариметрии) используют для определения концентрации сахара в моче, и в биофизических исследованиях.

В данной лабораторной работе предлагается измерить концентрацию сахара в ряде готовых растворов с помощью круговых поляриметров СМ-2 и (СМ-3).

Устройство и принцип работы поляриметров СМ-2 и СМ-3.

Оптическая схема поляриметров приведена на рис. 3. Свет от лампы вначале проходит через фильтр, конденсор и поляризатор. После поляризатора световой пучок разделяется на две части: одна часть пучка проходит через кварцевую пластинку, кювету и анализатор, другая часть - только через кювету и анализатор. Свет, прошедший через поляриметр, наблюдают с помощью зрительной трубы. Анализатор можно вращать. Угол его поворота отсчитывают в градусах и долях градуса по шкале, нанесенной на лимб. Шкалу наблюдают через две лупы.

После прохождения поляризатора плоскость поляризации световой волны совпадает с главным сечением поляризатора (плоскость P на рис. 4а). В той части пучка, которая проходит дополнительно через кварцевую пластинку, происходит поворот плоскости колебаний на небольшой угол β . Плоскость колебаний этой части пучка на рис. 4а изображается плоскостью Q .

Интенсивности света обеих частей пучка, прошедшего через

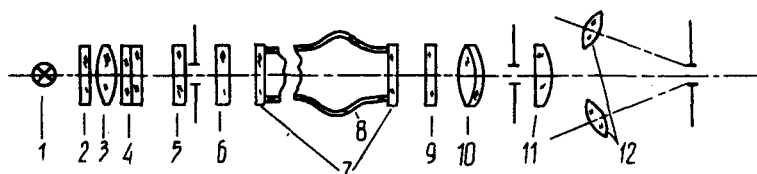


Рис. 3. Оптическая схема поляриметра.

1 - лампа, 2 - фильтр, 3 - конденсор,
4 - поляризатор, 5 - кварцевая пластинка,
6 - стеклянная пластинка,
7 - торцевое стекло кюветы, 8 - кювета,
9 - анализатор, 10 - объектив, 11 - окуляр,
12 - лупы.

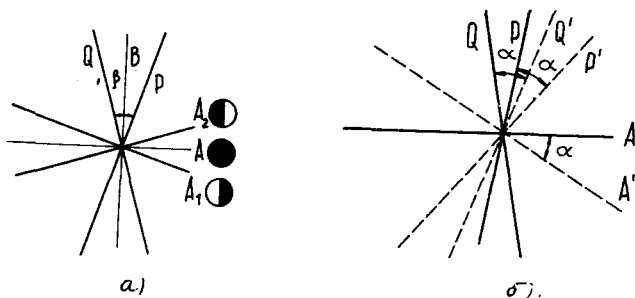


Рис. 4. Расположение плоскостей колебаний света в двух частях пучка (Q и P) и возможных положений анализатора.

анализатор, будет зависеть от того как расположить главную плоскость анализатора A относительно плоскостей P и Q . Если главную плоскость анализатора расположить перпендикулярно плоскости P (на рис. 4а это положение A_1), то свет с электрическим вектором, ориентированным в плоскости P не пройдет через анализатор. Половина поля зрения (наблюдаемого в зрительную трубу), соответствующая этой части пучка будет затемнена полностью, а другая половина освещена, поскольку через анализатор частично пройдет свет с плоскостью колебаний Q . Напротив, если анализатор повернуть в положение A_2 ,

т.е. расположить его плоскость перпендикулярно плоскости Q , то затемнена будет другая половина поля зрения.

Ясно, что между положениями A_1 и A_2 можно найти такие положения плоскости анализатора (на рис. 4а положения A и B), в которых интенсивности обеих частей пучка будут одинаковы, т.е. обе половины поля зрения будут иметь одинаковую яркость. В положении A по закону Малюса интенсивности обеих частей прошедшего через анализатор пучка невелики и поле зрения будет равномерно и слабо освещено. В положении B обе половины поля зрения освещены одинаково с максимальной яркостью. При повороте анализатора на 360° все ситуации повторяются дважды.

Нужно сказать, что глаз человека более чувствителен к разнице в яркостях частей поля зрения (особенно при малой яркости), нежели к степени яркости всего поля. Поляриметры, в которых на выходе сравниваются по яркости две половинки поля зрения, называются полутеневыми.

Если обратиться к рис. 4а, то ясно, что отступление главной плоскости анализатора от положения A резко сказывается на отличии яркости двух половинок поля зрения, чем отступление от положения B .

Уравнивание яркостей половинок поля зрения вблизи затемнения используют для измерения угла поворота плоскости поляризации в растворе и определения концентрации. Измерение концентрации вещества в растворе с помощью поляриметра кратко сводится к следующему. В поляриметр помещают кювету с дистиллированной водой (растворителем) и находят положение анализатора, в котором обе половинки поля освещены одинаково слабо, делая так называемый нулевой отсчет по шкале. Затем кювету наполняют раствором. При прохождении обеих частей пучка через раствор плоскости поляризации Q и P повернутся на некоторый угол α и займут положение Q' и P' (рис. 4б). Равномерность яркости поля зрения нарушится. Чтобы получить одинаковую небольшую яркость полей сравнения, нужно анализатор повернуть также на угол α (положение A'). Численное значение для угла поворота получится из разности отсчетов по шкале анализатора для этих случаев.

Определив толщину слоя раствора L , и, зная удельное вра-

чение $[\alpha]_{\lambda}^t$ растворенного оптически активного вещества, можно концентрацию вычислить на основании формулы (2).

$$C = \frac{\alpha}{[\alpha]_{\lambda}^t \cdot l}$$

ход работы

Пользуясь рисунком 5, ознакомьтесь с поляриметром. (Поляриметры СМ-2 и СМ-3 немного отличаются по расположению ручек управления).

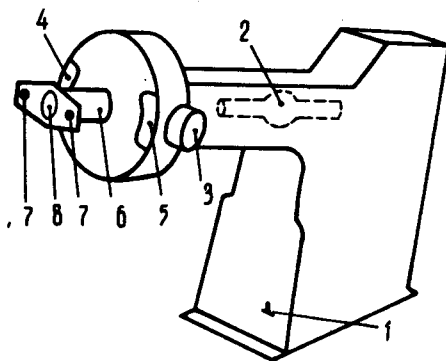


Рис. 5. Поляриметр СМ-2.

1 - тумблер "СЕТЬ", 2 - кювета, 3 - ручка вращения анализатора, 4,5 - отсчетные устройства, 6 - втулка для фокусировки зрительной трубы, 7 - лупы, 8 - окуляр зрительной трубы

Включите лампу поляриметра в сеть (время прогрева лампы 10 минут).

Поместите в прибор кювету с водой, закройте крышку кюветного отделения. Наблюдая в прибор, вращением втулки установите окуляр на резкое изображение линии раздела полей сравнения. После этого вращением ручки анализатора 3 добейтесь равенства яркости полей сравнения (для слабых яркостей!) и снимите нулевой отсчет, используя шкалу круговую лимба и неподвижные отсчетные устройства I и II. На лимб нанесена 360-градусная шкала с ценой деления $0,5^\circ$, оцифрованная в направлении против часовой стрелки. Каждое отсчетное устройство имеет 25 делений. Цена деления отсчетного устройства $0,02^\circ$.

Отсчет делается таким образом:

- определяют, на сколько градусов повернута шкала лимба по отношению к нулевому штриху отсчетного устройства I.
- по штрихам первого и второго отсчетных устройств, совпадающих точно со штрихами шкалы лимба, отсчитывают доли градуса.
- к числу градусов, взятых по шкале лимба прибавляют средний арифметический отсчет по шкале I и II устройств.

Оцифровка отсчетного устройства «10» соответствует 0,10°, «20» - 0,20° и т.д. (см. примеры, приведенные ниже).

Наводок на равномерную яркость сделайте не менее пяти раз. Результатом будет среднее арифметическое значение измерений \bar{N}_g . После определения нулевого отсчета для кюветы с водой в поляриметр поместите кювету с раствором, заново сфокусируйте окуляр, поворотом анализатора установите равномерную слабую яркость поля сравнения и снимите отсчет с раствором \bar{N}_p . Наводок сделайте опять же не менее пяти.

Разность отсчетов равна углу поворота плоскости поляризации:

$$\alpha = \bar{N}_p - \bar{N}_g.$$

Результаты измерений для трех растворов различной концентрации следует занести в табл. 1.

Рассчитайте концентрацию сахара в растворах и представьте зависимость $\alpha = f(C\%)$ графически.

Коэффициенты удельного вращения при температуре раствора 20°C и длине волны 589 нм следующие:

Тростниковый сахар
или сахароза

$$[\alpha] = +66,52 \frac{\text{град.см}^3}{\text{дм г}}$$

Виноградный сахар
или глюкоза

$$[\alpha] = +52,76 \frac{\text{град.см}^3}{\text{дм г}}$$

Фруктовый сахар
или фруктоза

$$[\alpha] = -91,5 \frac{\text{град.см}^3}{\text{дм г}}$$

Таблица I

Номер измерения	Дистилл. вода	Растворы I, II, III		
	N_d	$N_p (I)$	$N_p (II)$	$N_p (III)$
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее значение	$\bar{N}_d =$	$\bar{N}_p (I) =$	$\bar{N}_p (II) =$	$\bar{N}_p (III) =$
$\alpha = \bar{N}_p - \bar{N}_d$				

Примеры регистрации отсчетов

1. Пусть отсчет положения анализатора относительно нулевого штриха отсчетного устройства I для кюветы с дистиллированной водой составляет $0,5^\circ + 0,02^\circ$, а доля градуса относительно нулевого штриха II-го устройства равна $0,06^\circ$ (отсчет $180,5^\circ + 0,06^\circ$). Тогда окончательный отсчет для кюветы с водой будет $0,5 + (0,02 + 0,06)/2$, $N_d = 0,54^\circ$. Пусть отсчет для кюветы с раствором равен $N_p = 3,00 + (0,82 + 0,86)/2 = 3,84^\circ$. Угол поворота плоскости поляризации будет $\alpha = 3,84 - 0,54 = 3,30^\circ$. (правовращающий раствор).

2. Пусть отсчет для кюветы с водой по-прежнему $N_d = 0,54^\circ$, а для раствора $N_p = 357,14^\circ$. В этом случае в кювете был раствор левовращающего вещества. Для расчета угла поворота плоскости поляризации отсчет для кюветы с водой запишем в виде: $N_d = 360,54^\circ$. Итак, $\alpha = N_p - N_d = 357,14 - 360,54 = - 2,40^\circ$.

Литература

1. А.Н.Ремизов. Медицинская и биологическая физика. М. "Высшая школа." 1987, с. 439-448.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТА В ЛЮКСМЕТРЕ

Задание

Составить градуировочный график фотоэлемента. Измерить распределение светового потока лампы.

Принадлежности

Селеновый фотоэлемент, источник с известной силой света микроамперметр, магазин сопротивлений, трансформатор понижающий (I2B), стабилизатор, автотрансформатор, оптическая скамья с рейтерами, диафрагма, изучаемая лампа, линейка.

Введение

Световые величины и их единицы. Зрительное ощущение возникает при действии на светочувствительные элементы сетчатки глаза электромагнитного излучения в диапазоне длин волн от 380 нм до 760 нм. Фоторецепторы сетчатки делятся на колбочки и палочки. Колбочки образуют аппарат центрального и цветного зрения, а палочки – аппарат периферического, ночного ахроматического зрения. Чувствительность глаза в вышеуказанном диапазоне волн не является постоянной. При дневном зрении глаз наиболее чувствителен к свету с длиной волны 555 нм (желто-зеленая область спектра). В сторону красной и фиолетовой частей спектра чувствительность резко снижается.

При ночном зрении излучение различных длин волн вызывает почти одинаковое ощущение голубовато-серого тона, максимум чувствительности смещается в сторону коротких волн и соответствует 510 нм.

Глаз также обладает свойством менять чувствительность в

зависимости от силы светового раздражения. Это свойство называют свойством зрительной адаптации глаза.

Спектральная чувствительность глаза характеризуется спектральной световой эффективностью (видностью излучения)

$$S_{\lambda} = \frac{d\Phi}{dQ_{\lambda}} \quad (I)$$

Здесь Φ - световой поток. Световым потоком называют протекающую через некоторую поверхность в единицу времени лучистую энергию, оцениваемую по зрительному ощущению. Q_{λ} - мощность электромагнитного излучения, которая обеспечивает этот световой поток. Величины $d\Phi$ и dQ_{λ} отнесены к малому интервалу длин волн λ , $\lambda + d\lambda$.

Относительной спектральной эффективностью называют отношение $S_{\lambda} = \frac{S_{\lambda}}{S_{max}}$, где S_{max} - максимальная видность при $\lambda_m = 555$ нм для дневного зрения. Кривые относительной видности для стандартного наблюдателя приведены на рис. I.

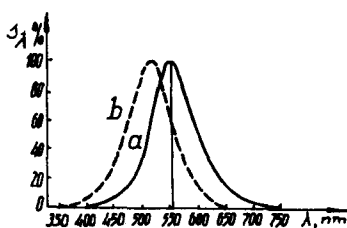


Рис. I. Кривая относительной видности: а - для дневного зрения, б - для ночного зрения.

Мощность электромагнитного излучения измеряется в энергетических единицах - ваттах (энергия - в джоулях, интенсивность - в Вт/м² и т.д.).

Световой поток и другие фотометрические величины, измеряются в так называемых световых единицах. Основной единицей в международной системе единиц, через которую определяются все другие световые единицы, служит кандела (кд) - единица

силы света. Сила света определяется как световой поток, создаваемый источником в единичном телесном угле. Сила света источника излучения в данном направлении равна 1 кд, если энергетическая сила излучения в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср при частоте излучения $540 \cdot 10^{12}$ Гц.

Световым потоком Φ , посылаемым точечным источником света в некоторый телесный угол Ω , называют величину, равную произведению силы света I на телесный угол:

$$\Phi = I \cdot \Omega \quad (2)$$

Единица светового потока - люмен (лм). 1 лм - это световой поток, испускаемый точечным источником в телесном угле 1 ср при силе света 1 кд.

Напомним: точечным источником света называется источник, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстоянием от точки наблюдения до источника, стерадиан - единица измерения телесного угла. Телесный угол в один стерадиан с вершиной в центре сферы вырезает на сфере площадь, равную квадрату радиуса сферы.

Действие света на поверхности тел характеризуется освещенностью. Под освещенностью понимается отношение светового потока Φ , падающего на поверхность, к площади этой поверхности S :

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (3)$$

Единица освещенности - люкс (лк). 1 лк - освещенность, создаваемая световым потоком 1 лм, равномерно распределенным по поверхности 1 м².

Зависимость освещенности E от силы света I и расстояния r между источником света и освещаемой поверхностью дается формулой

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}, \quad (4)$$

где α - угол между падающим на освещаемую поверхность лучом и нормалью к ней.

Помимо перечисленных здесь величин используются и другие: яркость, светимость и т. д.

Соотношение между световыми и энергетическими величинами устанавливается через кривую спектральной чувствительности глаза при дневном зрении.

Световой поток через энергетический поток и функцию видности определяется выражением

$$\Phi = S_{\lambda_{max}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_z(\lambda) S_{\lambda} d\lambda. \quad (5)$$

Здесь $S_{\lambda_{max}} = 683$ лм/Вт. Вследствие зависимости чувствительности глаза от длины волны световому потоку 1 лм соответствует разная мощность, в зависимости от спектрального состава излучения.

Измерение освещенности. При проведении световых измерений используют приборы спектральная характеристика светочувствительного элемента которых совпадает с кривой видности глаза. Таким элементом может служить селеновый фотоэлемент. Небольшое отклонение его кривой спектральной чувствительности от кривой видности глаза может быть компенсировано фильтрами.

Работа селенового фотоэлемента основана на внутреннем фотоэффекте в полупроводниках, заключающемся в переходе электронов под действием квантов света из валентной зоны в зону проводимости с образованием на их месте дырок. Схема устройства фотоэлемента приведена на рис. 2.

На металлическую пластинку 1, служащую электродом, нанесен слой селена с дырочной проводимостью 2 (типа p). Поверх него нанесен тончайший слой серебра 3, который служит вторым электродом. Атомы серебра проникают в прилежащий к нему слой селена и последний (слой 4) приобретает электронную проводимость (типа n). Между верхним и нижним слоями селена образуется запирающий слой 5, в котором возникает контактная разность потенциалов (КРП). Под действием света в верхнем слое (n - слое) происходит фотоэффект, в результате которого образуется пара электрон-дырка. Электроны - основные носители заряда в этом слое, через запирающий слой не проходят, дырки же под действием КРП "проходят" в нижний слой. Аналогично, из нижнего слоя в верхний проходят только электроны. Таким

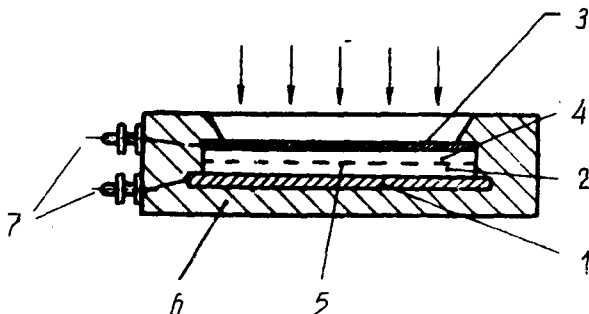


Рис. 2. Фотоэлемент с запирающим слоем.

1 - металлическая пластинка, 2 - слой полупроводника с p - проводимостью, 3 - полупрозрачный слой серебра, 4 - слой полупроводника с n - проводимостью, 5 - запирающий слой, 6 - корпус, 7 - клеммы.

образом, положительные и отрицательные заряды, освобожденные под действием света, разделяются по обе стороны запирающего слоя и образуют э. д. с. фотоэлемента. При подключении к клеммам фотоэлемента измерительного прибора через него потечет ток, сила которого будет пропорциональна световому потоку. Если площадь активной поверхности фотоэлемента остается постоянной, для чего при измерениях следует добиваться заполнения всей поверхности фотоэлемента светом, то сила фототока будет пропорциональна освещенности фотоэлемента.

Из сказанного следует, что фотоэлемент может быть использован для измерения освещенности, т.е. на его основании можно построить люксметр. Люксметр состоит из фотоэлемента и прибора, измеряющего фототок. Шкала заводского люксметра непосредственно калибруется в люксах.

Целью нашей лабораторной работы является измерение силы фототока в зависимости от освещенности поверхности фотоэлемента и составление градуировочной кривой по результатам

измерения.

Изменение освещенности вызывается за счет увеличения расстояния между поверхностью фотоэлемента и лампой с известной силой света (см. формулу (4)). Во второй части работы по градуировочной кривой и измеренным значениям силы тока находят освещенность, создаваемую лампой с неизвестной силой света.

Ход работы

Градуирование прибора. Схема опыта приведена на рис. 3. На оптической скамье размещены в рейтерах фотоэлемент, источник с известной силой света (лампочка, с напряжением питания 12В, силой света $I = 21$ кд) и диафрагма.

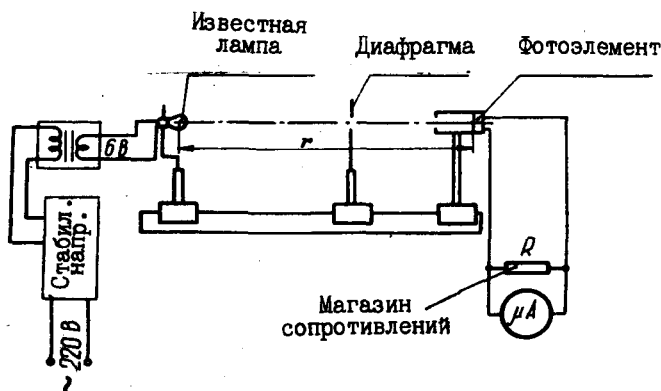


Рис. 3. Градуирование фотоэлемента.

- Расположите лампу на одном уровне с фотоэлементом примерно в 20 см от него. Лучи света от лампы должны падать на фотоэлемент перпендикулярно к его рабочей поверхности.
- Разместите диафрагму между лампой и фотоэлементом (ближе

к последнему) так, чтобы диафрагма не препятствовала освещению рабочей поверхности фотоэлемента лучами лампы, но достаточно ограждала его от света посторонних источников (электрическое освещение, дневной свет).

- К клеммам фотоэлемента подключите микроамперметр и параллельно с ним – магазин сопротивлений. Сопротивление магазина возьмите равным нулю.
- Включите лампу в сеть через стабилизатор напряжения и понижающий трансформатор.
- Начиная с декады с наименьшим сопротивлением подберите сопротивление на магазине, так чтобы стрелка микроамперметра отклонялась на всю шкалу. Измерьте расстояние от лампы до плоскости поверхности фотоэлемента. Запишите показания микроамперметра.
- Удаляя лампу от фотоэлемента, зафиксируйте показания микроамперметра, равные 0,9; 0,8; ... 0,1 от первоначального максимального показания. Одновременно с этим измерьте линейкой соответствующее расстояние от лампы до фотоэлемента. Рассчитайте освещенности по формуле (4) учитывая, что $I = 21$ кд и $\alpha = 0^\circ$ по условию опыта.

Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу I.

Таблица I

Расстояние r (м)	Показание микроамперметра N (мкА)	Освещенность E (лк)
...

- Постройте градуировочный график, отложив по одной оси координат показания микроамперметра N , а по другой – освещенность E .

Исследование распределения светового потока, создаваемого лампой с неизвестной силой света.

Схема опыта приведена на рис. 4.

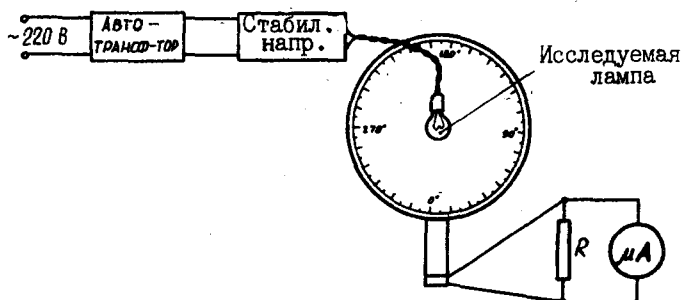


Рис. 4. К изучению распределения светового потока.

Обычная осветительная лампа мощностью 25–40 Вт жестко укреплена на алидаде (подвижной части) гониометра. Проградуированный фотоэлемент закрепите в держателе на лимбе (неподвижной части) гониометра на одной высоте с лампой. При нулевом отсчете шкалы гониометра свет падает на фотоэлемент перпендикулярно к его рабочей поверхности. Сопротивление пунта для микроамперметра и предел измерений на нем оставьте теми же, что и в предыдущей части работы.

Включите лампу в сеть через автотрансформатор и стабилизатор. С помощью автотрансформатора подберите напряжение питания на лампе, так чтобы при повороте алидады с лампой от 0° до 360° микроамперметр не зашкаливал ни в одном из положений лампы.

Поворачивая лампу, зарегистрируйте показания N (мкА) микроамперметра через каждые 10 градусов угла поворота α . Найдите соответствующие значения освещенности по градуиро-

вочной кривой.

Значения α , N и E занесите в таблицу 2.

Таблица 2

Угол поворота лампы α	Показания прибора $N(\text{мкА})$	Освещенность $E(\text{лк})$
0°		
10°		
.		
.		
.		
360°		

Постройте векторную диаграмму распределения светового потока в полярных координатах на специальном бланке.

Литература

1. А.Н. Ремизов. Медицинская и биологическая физика. М. "Высшая школа". 1987, с. 487-493.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ КОЛОРИМЕТРОМ

Задание

Ознакомиться с явлением поглощения света растворами и устройством фотоэлектрических колориметров. Определить оптические плотности и концентрации окрашенных растворов.

Принадлежности

Фотоэлектрические колориметры КФК-2 и КФК-2МП, комплект растворов с известными концентрациями, изучаемые растворы с неизвестными концентрациями.

Введение

Поглощение света в растворах. Поглощением называют уменьшение энергии световой волны при ее распространении в среде. Энергия световой волны при поглощении превращается в другие виды энергии - в основном в тепловую.

Согласно закону Бугера-Ламберта интенсивность I монохроматического света с длиной волны λ , прошедшего через слой вещества толщиной l , выразится как

$$I = I_0 \cdot e^{-k_\lambda l}, \quad (1)$$

где I_0 - интенсивность падающего света, k_λ - монохроматический натуральный показатель поглощения - величина, обратная расстоянию, на котором интенсивность света ослабляется в $e=2,718$ раз. Показатель k_λ зависит от длины волны света.

Изучая поглощение монохроматического излучения в раст-

ворах при условии, что растворитель не поглощает в исследуемой области спектра, А.Бер пришел к выводу, что в растворах с малой концентрацией показатель поглощения k_λ пропорционален концентрации вещества в растворе:

$$k_\lambda = \chi'_\lambda \cdot C. \quad (2)$$

Здесь χ'_λ - натуральный молярный показатель поглощения (одного моля растворенного вещества).

Таким образом, в тех условиях, в которых закон Бера выполняется, поглощение света может быть описано законом Бугера-Бера

$$I = I_0 \cdot e^{-\chi'_\lambda Cl} \quad (3)$$

Этот закон можно записать через показательную функцию с основанием 10:

$$I = I_0 \cdot e^{-\chi_\lambda Cl}, \quad (3')$$

где $\chi_\lambda = \frac{\chi'_\lambda}{2.3}$ - молярный показатель поглощения.

Отношение $\frac{I}{I_0} = \tau$ называют коэффициентом пропускания раствора.

Величина

$$D = \lg \frac{I_0}{I} = \lg \frac{1}{\tau} \quad (4)$$

— оптическая плотность раствора. Например, если $\tau = 10\%$, то $D = 1$.

На основании (3') и (4) можно записать

$$D = \chi_\lambda \cdot Cl. \quad (5)$$

Из формулы (5) следует, что оптическая плотность слоя определенной толщины l зависит от концентрации линейно. Эта формула лежит в основе определения концентрации поглощающего

вещества в растворе с помощью колориметра.

В данной работе предстоит ознакомиться с принципом работы и устройством фотоэлектрического колориметра и определить оптические плотности, а также концентрации ряда растворов. Используются две модификации прибора КФК-2 и КФК-2МП.

Устройство и принцип работы колориметра КФК-2. Колориметр КФК-2 служит для измерения коэффициента пропускания τ и оптической плотности D растворов в спектральном диапазоне от 315 до 980 нм.

Принципиальная оптическая схема колориметра КФК-2 приведена на рис.1.

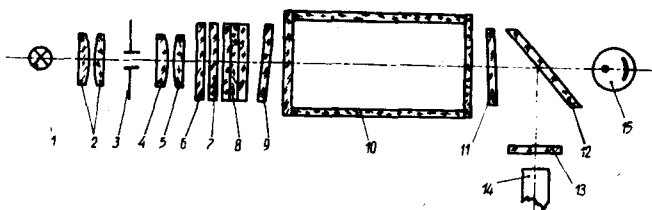


Рис.1. Оптическая схема фотоколориметра КФК-2.

- 1 - лампа, 2 - конденсор, 3 - щель,
- 4,5 - объектив, 6,7,8 - светофильтры,
- 10 - кювета, 9,11 - защитные стекла,
- 12 - полупрозрачная пластинка, 13 - фильтр,
- 14 - фотодиод, 15 - фотозлемент.

Световой пучок от лампы 1 направляется конденсором 2 через щель 3 на сложный объектив 4,5.

Объектив переносит изображение нити лампы в плоскость, отстоящую от объектива на расстояние 300 мм с увеличением $10\times$. 6 - теплозащитный светофильтр для области 400-450 нм.

Нейтральные светофильтры 7 служат для ослабления пучка света. Для выделения узких спектральных интервалов из спектра лампы служат цветные фильтры 8. Кювета 10 вводится в световой пучок между защитными стеклами 9, 11.

Пластика 12 делит световой пучок на два: 10% светового потока направляется на фотодиод (ФД-2ИК) 14 через добавочный фильтр 13, а 90% светового потока направляется на фотоэлемент (Ф-26) 15. Фотоприемники работают в разных областях спектра: фотоэлемент - 315-540 нм, фотодиод - 590-980 нм.

Фототок после усиления измеряется микроамперметром. Шкала прибора оцифрована в коэффициентах пропускания τ и оптической плотности D .

Практически измерение коэффициента пропускания на выбранной длине волны осуществляется следующим образом. Вначале в световой пучок помещают кювету с растворителем. Изменением чувствительности колориметра добиваются того, чтобы отсчет по шкале стрелочного прибора, регистрирующего фототок, был равен 100 дел. Таким образом, полный световой поток условно принимается равным 100%. Затем, в световой пучок помещают кювету с исследуемым раствором. Коэффициент пропускания исследуемого раствора в процентах будет равен новому отсчету прибора с этой кюветой (одновременно можно зарегистрировать оптическую плотность раствора).

Для определения концентрации вещества в растворе измеряют оптические плотности растворов с известными концентрациями, строят градуировочную кривую, измеряют оптическую плотность неизвестного раствора и по градуировочной кривой находят концентрацию.

На рис.2 изображен вид колориметра КФК-2 спереди. Назначение ручек управления указано в тексте под рисунком.

Общие указания к эксплуатации прибора. Питание колориметра производится от сети переменного тока (220 ± 22)В, частотой (50/60 \pm 0,5)Гц.

При измерении со светофильтрами 315, 364, 400, 440, 490, 540 нм, отмеченными на лицевой панели колориметра черным цветом, ручку "ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ" устанавливают в положения также отмеченные черным цветом.

При измерениях со светофильтрами 590, 670, 750, 870 и 980 нм, отмеченных красным цветом, ручку "ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ" устанавливают в одно из положений, отмеченных также на панели красным цветом.

Рабочие поверхности кювет перед каждым измерением должны

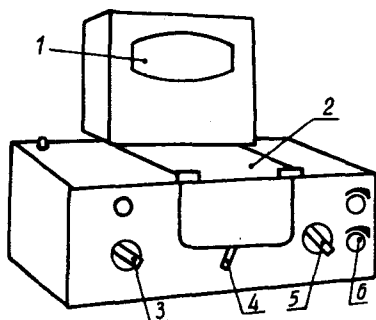


Рис.2. Вид колориметра ККК-2 спереди.

1 - регистрирующий прибор,
 2 - кюветное отделение, 3 - пере-
 ключатель светофильтров, 4 - пере-
 ключатель кювет, 5 - ручка "ЧУВСТ-
 ВИТЕЛЬНОСТЬ" ступенчатого изменения,
 6 - ручка "ТОЧНО" и "ГРУБО" для плав-
 ного изменения чувствительности.

тщательно протираться спиртовым раствором. При установке кювет в кюветодержатель нельзя касаться пальцами рабочих участков поверхностей (ниже уровня жидкости в кювете). Жидкость в кювету наливают до метки на боковой поверхности.

После смены светофильтра измерения начинают после пяти-минутной засветки фотоприемника.

При переключении светофильтров ручка "ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ" должна находиться в положении "I", а ручка "УСТАНОВКА 100 ГРУБО" - в крайнем левом положении.

Устройство и принцип работы колориметра КЭК-2МП. Оптическая схема КЭК-2МП такая же как и схема, приведенная на рис.1 для прибора КЭК-2. С назначением всех элементов схемы ознакомьтесь по предыдущему пункту. Вместо стрелочного прибора, регистрирующего коэффициент пропускания τ и оптическую плотность D в приборе КЭК-2, в колориметре КЭК-2МП используется электронно-счетное устройство "Электроника СМС 81201.1".

Световые потоки F_0 и F , проходящие через кювету с растворителем и раствором, фотоприемниками преобразуются в электрические сигналы U_0 и U . Эти сигналы обрабатываются микро-ЭВМ колориметра и представляются на цифровом табло в виде коэффициента пропускания, оптической плотности, концентрации и активности.

Коэффициенты пропускания рассчитываются по формуле

$$\tau = \frac{U - U_0}{U_0 - U_0} \cdot 100\%,$$

где U_0 - величина сигнала при перекрытом световом потоке.

Оптическая плотность D исследуемого раствора находится по формуле

$$D = -\lg \frac{U - U_0}{U_0 - U_0}$$

Концентрация вычисляется по формулам:

$$D = \epsilon + bC \quad \text{и} \quad C = \frac{D - \epsilon}{b},$$

где ϵ и b - коэффициенты, определяемые по градуировочной характеристике:

$$D = D_0, \text{ т.е. плотности при } C = 0 \text{ и } b = \frac{D_i - \epsilon}{C_i}.$$

D_i - оптическая плотность, соответствующая некоторой концентрации C_i .

Клавиатура, числовое табло и две индикаторных лампы микропроцессора выведены на лицевую панель колориметра. Клавиши "b" и "ε" служат для высвечивания коэффициентов ϵ и b на цифровом табло (вызов их из "памяти"). Клавиша "СБР" "стирает" высвеченный коэффициент (используется перед тем, как присвоить коэффициенту новое значение). С помощью клавиш

"0", "I-3" "-", и ", " можно присвоить коэффициентам " Γ " и " b " новые значения. Клавиша "УТВ" служит для введения нового значения коэффициента в память. Клавиши "K(1)" и "T(2)", "D(5)", "C(4)" предназначены для калибровки и измерения коэффициента пропускания, оптической плотности и концентрации раствора соответственно.

Клавиша "A(3)" предназначена для измерения активности раствора. Активность, величина характеризующая изменение оптической плотности в течение одной минуты. Активность вычисляют по формуле:

$$A = \left(\frac{D_2 - D_1}{t} - \Gamma \right) : b ,$$

где t - длительность интервала времени в минутах, D_1 и D_2 - оптические плотности в начале и конце интервала времени t .

Клавиша "Ц/Р" предназначена для перевода микропроцессора в один из двух режимов выполнения измерений: режим одиночных или режим циклических измерений. В режиме одиночных измерений измерение выполняется один раз при нажатии соответствующей клавиши; в режиме циклических измерений первое измерение производится при нажатии соответствующей клавиши и затем повторяется циклически с периодом 5 с до тех пор, пока система микропроцессора не будет переведена в режим одиночных измерений.

Если микропроцессор находится в режиме одиночных измерений, то горит индикатор "Р", в циклическом - горит индикатор "Ц".

Цифровое табло состоит из шести индикаторов. Первый индикатор служит для отображения одного из символов "3", "2", "1", "4", "5", "0", появляющегося при нажатии одной из клавиш "A(3)", "T(2)", "K(1)", "C(4)", "D(5)" соответственно и при измерении "нулевого отсчета" n_0 . Индикаторы 2-6 служат для вывода параметров " Γ " и " b ".

Клавиша "Ш(0)" предназначена для проверки "нулевого отсчета" n_0 .

На рис.3 приведен вид колориметра КЭК-2МП спереди. Назначение ручек указано в тексте под рисунком. На задней панели прибора расположен тумблер "СЕТЬ".

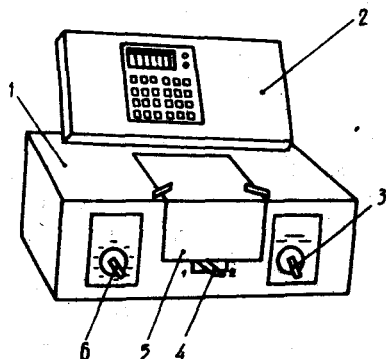


Рис.3. Вид колориметра КОК-2МП спереди.

1 - колориметрический блок и блок питания, 2 - вычислительный блок, 3 - переключатель фотоприемников, 4 - ручка перемещения кветодержателя, 5 - крышка кветного отделения, 6 - ручка переключения светофильтров.

Общие указания к эксплуатации прибора. Питание колориметра осуществляется от сети с напряжением 220В, частотой 50/60Гц.

Положение ручки 3, переключающей фотоприемник, выбирается в зависимости от используемого светофильтра. Светофильтры вмонтированы в диск и в световой пучок вводится ручкой 6. Рабочее положение фильтра фиксируется.

Если крышку кветного отделения приподнять, то доступ света к фотоприемникам перекрывается шторкой.

К колориметру прилагается набор квет с рабочей длиной, мм . . . 50; 30; 20; 10; 5.

В кветное отделение 5 (рис.3) кветы помещаются в специальном кветодержателе с двумя гнездами. Перемещение кветодержателя осуществляется с помощью ручки 4; при положении 1 ручки 4 в пучок света попадает ближняя квета, в по-

ложении 2 - дальняя ювета.

Ход работы

Студенту предлагается определить концентрацию вещества в растворе, используя один из описанных ранее колориметров. В инструкциях по эксплуатации колориметров КЭК-2 и КЭК-2МП рекомендуется придерживаться следующей последовательности в работе:

- выбор светофильтра,
- выбор юветы,
- построение градуировочной кривой для данного вещества,
- измерение оптической плотности исследуемого раствора и определение концентрации.

1. О выборе светофильтра и ювет. Колориметр КЭК-2 позволяет определить коэффициент пропускания в пределах от 100% до 5% (оптическую плотность от 0 до 1,3) с абсолютной погрешностью $\pm 1\%$. Относительная ошибка определения концентрации вещества в растворе будет различной при работе на разных участках шкалы колориметра и достигает минимума при значении оптической плотности 0,4. Максимальная точность определения концентрации на приборе КЭК-2МП также достигается вблизи оптической плотности слоя 0,4. Поэтому путем подбора подходящих фильтров (подбора значения λ) и рабочей длины юветы (подбора L) рекомендуется работать вблизи значения $D = 0,4$ (в интервале оптических плотностей 0,3-0,5).

Подбор юветы для работы с набором растворов, предлагаемых в практикуме, уже сделан заранее.

Две юветы с одинаковой рабочей длиной (одна для дистиллированной воды - растворителя, другая - для раствора) и набор растворов следует получить у лаборанта.

Выбор оптического светофильтра делается следующим образом. Регистрируется оптическая плотность поочередно со всеми светофильтрами для раствора с примерно средней концентрацией вещества. Далее строят график зависимости оптической плотности от длины волны, находят участок кривой, для которого выполняются следующие условия:

- 1) оптическая плотность принимает максимальное значение,
- 2) оптическая плотность мало зависит от длины волны.

Выбирается светофильтр, выделяющий длину волны, которая попадает на отмеченный участок. Второе условие может не выполняться. Тогда следует использовать светофильтр, для которого оптическая плотность имеет максимальное значение.

2. Проведение измерений на приборе КФК-2.

- 1) Ознакомьтесь, используя рис.2, с назначением ручек на лицевой панели колориметра КФК-2.
- 2) Откройте крышку кюветного отделения; при этом шторка будет перекрывать световой поток, попадающий на фотоприемники. Установите светофильтр 315 нм. Ручку 5 ступенчатого изменения чувствительности поставьте в положение 1 (черный цвет). Ручку 6 плавного изменения "ГРУБО" поставьте в крайнее левое положение.
- 3) Включите колориметр в сеть на прогревание (15 минут).
- 4) В тщательно протертые кюветы налейте: в одну кювету - дистиллированную воду, в другую - раствор со средним значением концентрации из предложенного для работы набора растворов. Кюветы поместите в кюветодержатель, так чтобы при положении 1 переключателя кювет 4 в пучке света оказывалась вода (дальнее гнездо).
- 5) Убедитесь в том, что при закрытии шторки стрелка регистрирующего прибора находится на нулевом штрихе шкалы коэффициента пропускания.
- 6) Закройте кюветное отделение. Теперь свет через кювету попадает на фотоприемник и стрелка отклоняется.
- 7) Через 5 минут регулировкой ручки "ГРУБО" установите стрелку прибора на полное отклонение (100 делений по шкале τ). Если этого не удастся сделать в положении "1" ступенчатого переключателя, то возьмите более чувствительные положения 2 или 3. При переходе к новой ступени не забудьте перевести ручку "ГРУБО" в крайнее левое положение. Избегайте зашкаливания стрелки!
- 8) С помощью ручки 4 замените кювету с водой на кювету с раствором (положение 2 ручки 4). Запишите со шкалы регистрирующего прибора значение оптической плотности раствора ($D = \lg \frac{1}{T}$).
- 9) Аналогичные измерения оптической плотности сделайте для

данного раствора со всеми светофильтрами. Перед сменой светофильтров откройте кюветное отделение (чтобы закрылась шторка), ручки чувствительности ставьте на минимальную чувствительность.

Закончив измерения, откройте кюветное отделение.

10) По измеренным данным постройте график зависимости оптической плотности от длины волны. Отметьте тот участок кривой, для которого выполняются условия, приведенные выше в пункте 1. Сделайте выбор оптимального светофильтра и занесите значения выбранной длины волны в протокол. **Результаты измерений** представьте в виде таблицы 1.

Таблица 1

λ (нм)	D

$\lambda_{\text{опт}} = \dots$

Таблица 2

$C\%$	D_i	\bar{D}

11) Установите оптимальный светофильтр, выбранный вами. Измерьте оптические плотности всех растворов из набора, в том числе и раствора с неизвестной концентрацией.

Для каждого раствора сделайте 3–5 измерений оптической плотности и найдите среднее значение. Данные представьте в виде таблицы 2.

При замене растворов в кювете сливайте каждый раствор назад в соответствующий сосуд, кювету прополаскайте дистиллированной водой, удалите остатки воды.

12) Постройте градуировочную кривую, откладывая по горизонтальной оси известные концентрации, а по вертикальной – соответствующие значения оптической плотности. Пользуясь графиком по известной оптической плотности, найдите неизвестную концентрацию вещества в растворе.

13) Промойте кювету, предназначенную для растворов, дистиллированной водой. Выключите колориметр, приведите рабочее

место в порядок.

Проведение измерений на колориметре КЭК-2МП.

1) Подготовка прибора к работе. Откройте крышку кюветного отделения. Включите прибор тумблером "СЕТЬ". При этом должна загореться сигнальная лампа.

Нажмите на клавишу "ПУСК". На цифровом табло появится мигающая запятая (после первого индикатора - индикатора режима работы) и зажигается индикатор "Р".

Выдержите колориметр во включенном состоянии в течение 15 минут при открытой крышке кюветного отделения.

Подготовьте прилагаемые к набору растворов кюветы. Для этого их нужно тщательно очистить с помощью ватки смоченной спирто-эфирной смесью. При установке кювет в кюветодержатель нельзя касаться рабочих поверхностей пальцами. Растворы наливают до отметки на стенке кюветы.

Для определения концентрации вещества в растворе сначала следует выбрать оптимальный светофильтр. Для этого нужно измерить оптические плотности раствора со средней концентрации вещества со всеми светофильтрами поочередно. Ниже описывается процесс измерения оптической плотности и коэффициента пропускания с любым из светофильтров.

2) Измерение оптической плотности раствора в режиме одиночных измерений.

Определите "нулевой отсчет" колориметра. Перед снятием нулевого отсчета следует закрыть и сразу открыть крышку кюветного отделения. По истечении 5 секунд нажмите на клавишу "Ш(о)". На цифровом табло справа от мигающей запятой высвечивается значение n_0 , а слева символ "0". Значение n_0 должно быть не менее 0,001 и не более 1,000. Если n_0 не укладывается в указанный интервал, нулевой отсчет регулируют потенциометром "НУЛЬ". В практикуме следует обратиться в этом случае за помощью к преподавателю.

В дальнейшем гнездо кюветодержателя поместите кювету с дистиллированной водой, в ближнюю - с раствором. Закройте крышку кюветного отделения. Установите нужный светофильтр и соответственно ему положение переключателя фотоприемников. В световой пучок введите кювету с водой (положение I ручки 4) и нажмите на клавишу "К(I)".

На цифровом табло слева от запятой возникает цифра 1. Затем в световой пучок введите кювету с раствором (положение 2 ручки 4) и нажмите на клавишу $D(5)$.

На цифровом табло слева от запятой возникает цифра "5", справа - значение оптической плотности.

Измерения коэффициента пропускания осуществляются так же как и оптической плотности, только вместо клавиши $D(5)$ нажимают на клавишу $\tau(2)$. Слева от запятой на цифровом табло возникает цифра "2", справа - значение коэффициента пропускания в процентах.

Результаты измерений оптической плотности для раствора со средней концентрацией со всеми светофильтрами представьте в виде табл. I на стр. 74. Постройте график зависимости $D = f(\lambda)$, найдите участок графика, удовлетворяющий названному в пункте 1 на стр. 72 условиям и сделайте выбор оптимальной длины волны.

3) Определение концентрации вещества в растворе в режиме одиночных измерений. Установите оптимальный светофильтр. Измерьте оптические плотности D всех растворов предложенного набора, с известными концентрациями вещества. Для каждого раствора измерения повторите не менее 3-5 раз, найдите средние значения. Результаты измерений представьте в виде таблицы 2 на стр. 74. Постройте график зависимости $D = C(\%)$, отложив по оси абсцисс концентрацию вещества, по оси ординат - оптическую плотность раствора. Определите крутизну прямой " b " и значение " C " - значение D при $C(\%) = 0$.

Введите коэффициенты b и C в память микро ЭВМ колориметра. Для этого нажмите на клавиши " b " и "СБР" (на цифровом табло слева от запятой возникает символ " b "), а затем введите клавиатурой, значение b . Нажмите на клавишу "УТВ", информация с цифрового табло исчезнет.

Нажмите на клавиши " C " и "СБР" и введите значение C , нажмите на клавишу "УТВ".

Теперь определите неизвестную концентрацию вещества в растворе. Для этого в кювету, с которой измерялась градуировочная кривая, налейте раствор с неизвестной концентрацией вещества. Введите в пучок света кювету с водой. Закройте кюветное отделение и нажмите клавишу "К(1)". Затем введите в

пучок кювету с раствором и нажмите клавишу "С(4)". На цифровом табло слева от запятой будет цифра 4, справа - значение концентрации. Повторите измерения 3-5 раз, найдите среднее значение. Запишите результаты в протокол.

4) Измерение оптической плотности, коэффициента пропускания и концентрации в циклическом режиме с периодом 5 секунд происходит аналогично измерению этих величин в одиночном режиме, только после помещения кювет в колориметр, следует закрыть крышку, нажать на клавишу "ПУСК" и далее клавишу "Ц/Р", чтобы задать циклический режим работы (на цифровом табло должен появиться символ "Ц").

Поскольку у вас в кювете остались дистиллированная вода и раствор с неизвестной концентрацией, повторите измерение концентрации в циклическом режиме.

Включите колориметр, промойте кюветы дистиллированной водой, приведите рабочее место в порядок.

Литература

1. А.Н. Ремизов. Медицинская и биологическая физика. М. "Высшая школа". 1987, с. 516-518, 521-524.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Принцип работы газового лазера

Оптические квантовые-генераторы (лазеры) основаны на генерации и усилении света с помощью вынужденного (индуцированного) излучения.

Индукцированным называется такое излучение электромагнитных волн, которое возникает, если атом переходит из возбужденного состояния в основное под действием внешнего излучения (фотона). Такое взаимодействие фотона с возбужденным атомом может происходить, если энергия фотона $h\nu$ равна разности уровней энергий атома в возбужденном и основном состояниях (рис. I).

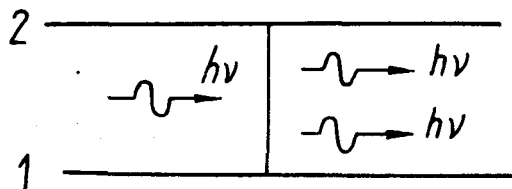


Рис. I. Усиление света.

В этом случае после взаимодействия фотона с атомом от атома будут распространяться уже два фотона – вынуждающий и вынужденный, т.е. будет происходить усиление света. Новый фотон, образовавшийся в процессе вынужденного излучения, имеет ту же частоту и энергию, что и фотон, стимулирующий этот процесс, он распространяется в том же направлении, т.е. индуцированное излучение когерентно вынуждающему излучению.

При взаимодействии фотонов с веществом наряду с вынужденным излучением происходит процесс поглощения фотонов, при котором атомы вещества переходят из основного состояния в возбужденное. В обычном состоянии невозбужденных атомов в веществе значительно больше, чем возбужденных, поэтому при вза-

взаимодействии фотонов с веществом преобладает процесс поглощения и усиления света не происходит. Чтобы процесс вынужденного излучения преобладал над процессом поглощения, нужно вещество перевести в состояние с инверсной населенностью.

Состоянием вещества с инверсной населенностью называется такое состояние, в котором большая часть атомов находится в возбужденном состоянии. Для создания инверсии населенностей используются разные приемы.

Рассмотрим устройство и принцип действия газового гелий-неонового лазера. Основным его элементом является разрядная трубка, заполненная смесью газов: гелия и неона. Парциальное давление гелия ~ 1 мм.рт.ст., неона $\sim 0,1$ мм.рт.ст. Атомы неона являются излучающими (рабочими), атомы гелия вспомогательными, необходимыми для создания инверсной населенности атомов неона.

На рис.2. изображены энергетические уровни атомов неона и гелия.

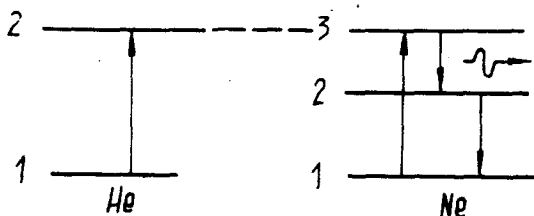


Рис.2. Уровни атомов неона и гелия.

При электрическом разряде в трубке возбуждаются атомы гелия и переходят в состояние 2. Первый возбужденный уровень 2 гелия совпадает с энергетическим уровнем 3 атомов неона, т.е. атомы гелия в состоянии 2 имеют одинаковую энергию с атомами неона в состоянии 3. Поэтому соударяясь с невозбужденными атомами неона, возбужденные атомы гелия передают им свою энергию и переводят их в возбужденное состояние 3. Таким образом, в трубке создается так называемая активная среда, состоящая из атомов неона с инверсной населенностью.

Спонтанный переход отдельных атомов неона с энергетического уровня 3 на уровень 2 вызывает появление в трубке фото-

нов. При дальнейшем взаимодействии этих фотонов с возбужденными атомами неона возникает индуцированное излучение последних, и в трубке возникает увеличивающийся поток фотонов с энергией $h\nu = \frac{hc}{\lambda}$, т.е. с длиной волны λ .

Для увеличения мощности излучения трубку помещают в зеркальный резонатор. Отражаясь от зеркал, поток фотонов многократно проходит вдоль оси трубки, при этом в процесс индуцированного излучения включается все большее число атомов неона и интенсивность генерируемого излучения возрастает.

Лазер будет работать в режиме генерации, если потери энергии световой волны при каждом отражении от зеркал резонатора меньше, чем прирост энергии в результате индуцированного излучения при прохождении его вдоль трубки через активную среду. В связи с этим очень важным является качество зеркал резонатора. Резонатор состоит из плоского 5 и вогнутого 6 зеркал с многослойными диэлектрическими покрытиями (рис.3).

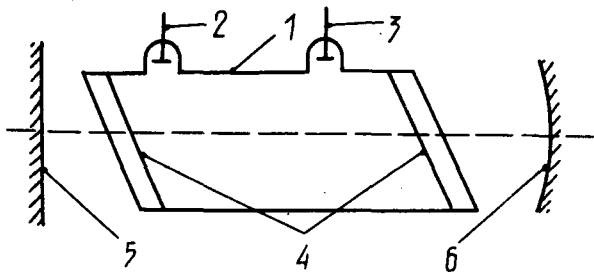


Рис.3. Оптическая схема лазера.

Коэффициент отражения этих зеркал очень высок – 98–99%. Коэффициент пропускания света одним зеркалом составляет около 0,1%, а другим – около 2%. Применение зеркального резонатора позволяет получить мощный и узкий пучок света.

Разрядная трубка 1 с торцов закрыта плоскопараллельными стеклянными пластинками 4, установленными под углом Брюстера к оси трубки. Такое положение пластинок обеспечивает прохож-

дение через них поляризованного излучения неона без потерь на отражение и приводит к плоской поляризации излучения лазера. Для создания в трубке электрического разряда в нее введены два электрода: анод 2 и катод 3.

Индукцированное излучение газового лазера является высококогерентным, исключительно монохроматическим, плоскополяризованным, остронаправленным и обладает большой мощностью. На этих свойствах основано применение лазеров. В настоящее время лазеры широко используются в различных областях медицины. Впервые с лечебной целью лазер был применен в офтальмологии. Эксперименты на животных показали, что воздействие лучей лазера небольшой энергии (сотые и десятые доли джоуля) вызывает слипчивое воспаление между внутренними оболочками глаза с последующим образованием мощного соединительного рубца. Офтальмологи используют лазер прежде всего для лечения отслоения сетчатки. Луч лазера позволяет "приварить" отслоенную сетчатку к лежащей под ней сосудистой оболочке. Лучи лазера с успехом применяют и для лечения некоторых начальных форм внутриглазных опухолей без удаления глазного яблока.

Исключительный интерес представляет возможность использования лазера в хирургии. Луч лазера позволяет абсолютно стерильным "световым скальпелем" рассекать ткани и производить операции почти без кровотечений. Объясняется это тем, что при рассечении лучом лазера мелкие и средние сосуды спаиваются и лишь крупные сосуды необходимо перевязывать. Использование лазера позволило производить хирургические операции на parenхиматозных органах. Разрушительное действие лазерного луча используется для лечения пигментных пятен, бородавок, опухолей.

Применение гибких световодов позволило использовать лазерное излучение для получения голограмм некоторых внутренних органов, а также для внутренней коагуляции.

А. ИЗУЧЕНИЕ ПОЛОС РАВНОГО НАКЛОНА

Задание

Получить полосы равного наклона, определить максимальный порядок интерференции и показатель преломления материала пластинки.

Принадлежности

Газовый лазер ДГН-105, линза, экран, плоскопараллельная пластина, устройство для регистрации диаметра колец.

Интерференция световых волн.

Пусть две волны одинаковой частоты, накладываются друг на друга, возбуждают в некоторой точке пространства колебания

$$x_1 = A_1 \cos(\omega t_1 + \varphi_1)$$

$$x_2 = A_2 \cos(\omega t_2 + \varphi_2)$$

Амплитуда результирующего колебания в данной точке определяется по формуле: $A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$

Если разность фаз $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ остается постоянной во времени, то волны называются когерентными. Источники таких волн также называются когерентными.

В случае некогерентных волн сдвиг фаз $\Delta\varphi$ постоянно меняется, принимая с равной вероятностью любые значения, вследствие чего среднее по времени значение $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$ равно нулю. В этом случае: $A^2 = A_1^2 + A_2^2$.

Поскольку интенсивность света $I \sim A^2$, то при наложении некогерентных волн $I = I_1 + I_2$

В случае когерентных волн $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$ имеет постоянное во времени (для каждой точки пространства) значение, так что

$$I = I_1 + I_2 + 2I_1I_2\cos\Delta\varphi$$

В тех точках пространства, где $\Delta\varphi > 0$ интенсивность I будет превышать $I_1 + I_2$, там, где $\Delta\varphi < 0$ интенсивность уменьшается: $I < (I_1 + I_2)$. Таким образом, при наложении когерентных волн про-

исходит перераспределение светового потока в пространстве, в результате чего в одних местах пространства возникают максимумы, в других – минимумы интенсивности. Это явление называется интерференцией волн. Особо отчетливо интерференция проявляется, если $A_1 = A_2$.

Естественные источники света не когерентны. Когерентные волны можно получить, разделив (с помощью отражений и преломлений) волну, излучаемую одним источником на две части. Если заставить эти две волны пройти разные оптические пути, а потом наложить их друг на друга, наблюдается интерференция (напомним, что оптическая длина $\Delta = nS$, где n – показатель преломления среды, S – путь, проходимый светом в среде). Максимум интенсивности возникает при условии, что два колебания в данной точке синфазны, это соответствует тому, что разность оптических длин – оптическая разность хода двух лучей равна целому числу волн

$$\Delta = \pm k\lambda_0, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Здесь λ_0 – длина волны света в вакууме.

Условием интерференционного минимума будет выражение:

$$\Delta = \pm (k+1/2)\lambda_0, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

т.е. на разности хода укладывается полуцелое число волн. Колебания в этой точке пространства происходят в противофазе. Число k называют порядком интерференции. Расстояние между соседними максимумами интенсивности – расстоянием между интерференционными полосами.

Полосы равного наклона.

Пусть на прозрачную плоскопараллельную пластину толщиной l падает параллельный пучок света, представленный на рисунке 4. Пластика отбрасывает вверх два когерентных пучка света, один из которых образуется за счет отражения от верхней поверхности пластинки, второй – вследствие отражения от нижней поверхности. (Лучи, возникшие за счет трех-, пяти- и т.д.

кратного отражения не будем рассматривать из-за малой их интенсивности).

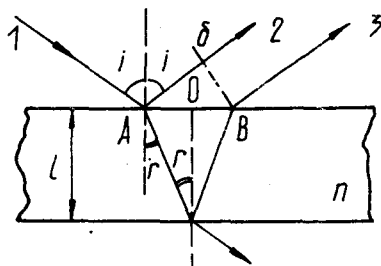


Рис.4. Возникновение полос равного наклона.

Согласно рисунку, оптическая разность хода лучей 2 и 3 будет:

$$\Delta = 2n l \cos r + \frac{\lambda_0}{2} \quad (3)$$

Здесь r – угол преломления, n – показатель преломления пластины. Потеря полволны $\lambda_0/2$ возникает за счет отражения света от оптически более плотной среды в точке (А). Если на пути лучей 2 и 3 поставить собирающую линзу, они сойдутся в одной из точек фокальной плоскости линзы и будут интерферировать. При разности хода $\Delta = k\lambda_0$ получается максимум, при $\Delta = (k+1/2)\lambda_0$ – минимум интенсивности; k – целое число или нуль.

Если использовать естественные источники света, то интерференционная картина может наблюдаться только для тонких пластинок. Это обусловлено тем, что а) чем больше толщина пластинок, тем больше интерференционных полос возникает и тем теснее они расположены; б) монохроматичность излучения обычных источников не высока. Это приводит к уширению интерференционных полос. В случае использования монохроматического лазерного излучения интерференционные полосы наблюдаемы для сравнительно толстых пластинок.

Рассмотрим какая интерференционная картина возникает в случае постановки опыта так, как показано на рис.5. Свет от лазера 1 рассеивается короткофокусной линзой 2 и падает на плоскопараллельную пластинку 3 расходящимся пучком.

Луч лазера направляется по главной оптической оси линзы,

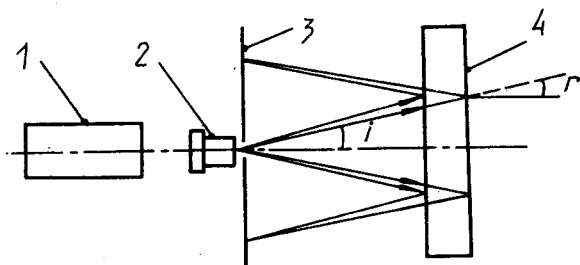


Рис.5. Схема опыта по наблюдению полос равного наклона.

пластинка установлена перпендикулярно лучу. Отражение от обеих поверхностей пластинки, обеспечивает разность хода, описываемую формулой (3). На экране 3 будут видны концентрические темные и светлые кольца (минимумы и максимумы интерференционной картины). Рассмотрим как они возникают.

В падающем свете присутствуют лучи с разными углами падения i . Данному значению угла падения i (данному наклону) будет соответствовать постоянная разность хода отраженных лучей. На экране будет возникать совокупность освещенных точек, расположенных по окружности. Лучи, падающие под другим углом i' , создадут также совокупность одинаково, но иначе освещенных точек другого радиуса, поскольку иная разность хода Δ . Каждая полоса на экране соответствует какому-то определенному наклону падающих лучей, поэтому полученные в таком опыте интерференционные полосы носят название полос равного наклона. Следует отметить, что полосы равного наклона следовало бы наблюдать на экране, расположенном в бесконечности или в фокальной плоскости линзы. Обычно же экран ставят на конечном расстоянии, таком, при котором формула (3) выполняется с большой точностью.

В рассматриваемом опыте минимумы интенсивности возникают при выполнении условия

$$2\pi l \cos r + \Lambda_0/2 = (k+1/2)\Lambda_0,$$

т.е.

$$2\pi l \cos r = k\Lambda_0, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

Порядок интерференции максимален в центре картины ($\cos r \rightarrow 1$)

$$k_{max} = \frac{2ln}{\Lambda_0} \quad (5)$$

Из этого выражения видно, что значение k_{max} определяется оптическими свойствами пластинки. k_{max} равно числу волн света, которое укладывается на оптической длине пути, соответствующей удвоенной толщине пластинки. Это число не обязательно целое.

Экспериментальное определение значений n и k_{max}

При небольших углах падения света на пластинку условие минимума (4) может быть записано в виде

$$2\pi l \left(1 - \frac{r_k^2}{2}\right) = k\Lambda_0, \quad (6)$$

поскольку $\cos r = 1 - \frac{r_k^2}{2}$, а в законе преломления света на границе двух сред вместо синусов углов падения и преломления могут быть взяты значения самих углов, тогда

$$l/r = n \quad (7)$$

Используя выражение (5) для максимального порядка, можно получить

$$r_k^2 = 2 \frac{k_{max} - k}{k_{max}} \quad (8)$$

На основании формул (7) и (8) получается линейная зависимость квадрата угла падения света от разности $k_{\max} - k = k'$

$$t_k^2 = 2\pi^2 \frac{k_{\max} - k}{k_{\max}} = 2\pi^2 \frac{k'}{k_{\max}} \quad (9)$$

Значение t_k может быть найдено из экспериментальных данных, а именно путем измерения диаметров D_k темных колец на экране и расстояния L от пластинки до экрана

$$\operatorname{tg} t_k = \frac{D_k}{4L} \quad (10)$$

Величину k' непосредственно из наблюдений определить нельзя (потому, что в центре экрана имеется отверстие и неизвестно с какого темного кольца мы начинаем отсчет). Это затруднение можно обойти следующим образом. Начиная с первого видимого темного кольца от центра картины, припишем им номера от нуля и выше. Тогда, действительный номер кольца $k' = k'_0 + k'_x$, где k'_0 - пока неизвестно. Формулу (9) перепишем в виде:

$$t_k^2 = \frac{2\pi^2 k'_0}{k_{\max}} + \frac{2\pi^2 k'_x}{k_{\max}}$$

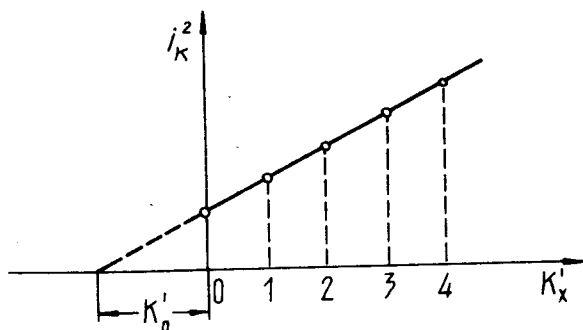


Рис.6. График зависимости t_k^2 от номера кольца. График функции $t_k^2 = f(k'_x)$ - прямая линия (см.рис.6),

наклон которой

$$\frac{\Delta(t_b^2)}{\Delta(k_x')} = \frac{2n^2}{k_{max}} \quad (II)$$

Рисунок 6 позволяет также увидеть как находится значение k'_0 . Из двух выражений (5) и (II) при известных значениях толщины пластины l и длины волны излучения лазера λ_0 можно найти значения k_{max} и n .

Ход работы

1. Совместно с преподавателем включить лазер.
2. Направить луч лазера перпендикулярно пластинке. Для этого следует убрать линзу с оптической скамьи и установить экран так, чтобы луч лазера проходил через центр отверстия. Стеклопластиковая пластинка перпендикулярна лучу, если отраженный луч распространяется назад точно по падающему лучу. Положение пластинки регулируется винтами подложки пластины и поворотом столика как целое.
3. Установить линзу так, чтобы она расширяла, но не сжимала луч лазера.
4. Измерить диаметры 5 темных колец при двух разных расстояниях L . Поскольку кольца не идеальны и имеют конечную ширину, то для уменьшения погрешности диаметр следует измерить в нескольких направлениях. Измерение диаметра колец выполняется штангенциркулем или с помощью перемещаемого фотосоприкасания. Результаты занести в табл.1.

$$L_1 = \dots\dots\dots$$

Табл.1.

Номер кольца	Диаметр кольца	Среднее значение D_k	Угол падения i_k	t_k^2
1				
2				
...				

5. Построить графики $t_x^2 = f(k_x')$
6. Найти значения k_0' и $\Delta t_x^2 / \Delta k_x'$
7. Вычислить значения k_{max} и n .

Литература

1. А.Н.Ремизов. Медицинская и биологическая физика. М. "Высшая школа". 1987, с.536-538.

Б. ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА КРУГЛЫХ ЧАСТИЦАХ МАЛОГО РАЗМЕРА

Задание

Определить диаметр эритроцитов крови.

Принадлежности

Газовый лазер, пластинка для нанесения мазка крови, экран.

Дифракцией называется явление огибания препятствий световыми волнами.

Если направить лазерный пучок на одно малое круглое препятствие, то дифракционная картина имеет форму чередующихся концентрических темных и светлых колец. В центре картины располагается светлое пятно. В случае одной частицы дифракционная картина будет плохо наблюдаться на фоне света, который попадает на экран не рассеиваясь. Если в сечении пучка поместить множество хаотично распределенных одинаковых частиц, то картины от каждой частицы будут складываться. Хаотичность частиц не позволяет возникать интерференции дифрагированных

на разных частицах пучков, как это происходит в случае упорядоченной структуры препятствий (на дифракционной решетке).

Дифракционная картина от N хаотически распределенных частиц усилится по интенсивности в N раз по сравнению с дифракционной картиной отдельной частицы, оставаясь по структуре распределения интенсивности такой же как и в случае одной частицы. Угол дифракции тем будет больше, чем меньше размер частиц. Угловые диаметры ϕ темных колец описываются формулами:

$$\sin \phi_1 = 1,22 \frac{\lambda}{d}, \quad \sin \phi_3 = 2,22 \frac{\lambda}{d}, \quad \sin \phi_5 = 3,24 \frac{\lambda}{d}, \quad (1)$$

где d — диаметр частицы, на которой рассеивается свет с длиной волны λ . Угловые диаметры ϕ светлых колец:

$$\sin \phi_2 = 1,64 \frac{\lambda}{d}, \quad \sin \phi_4 = 2,68 \frac{\lambda}{d}, \quad (2)$$

Кольца пронумерованы, начиная с первого темного кольца, окружающего центральное светлое пятно.

Как видно из приведенных выше формул, зная длину волны и измерив угловые диаметры колец, можно найти размер частиц.

Схема опыта по определению размеров частиц следующая (рис.7).

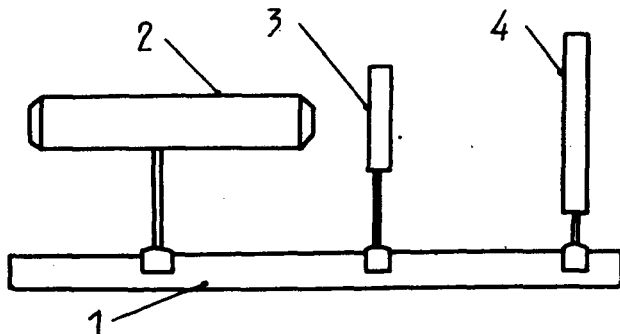


Рис.7. Схема опыта по определению размера частиц.

Пучок лазерного света непосредственно направляется на объект стеклянную пластинку, покрытую мелкими частицами. Этими

частицами могут быть, например, споры растений. В нашем практикуме на стеклянную пластинку наносится или споры растений, или мазок крови. Свет рассеивается на эритроцитах, что позволяет определить их линейный размер. Частицы могут быть заключены между двумя стеклянными пластинами. Объект закрепляется на рейтере, который можно перемещать на оптической скамье. За объектом устанавливается экран.

Для вычисления углового диаметра какого-либо кольца, определяют, пользуясь шкалой на экране, диаметр кольца D и расстояние L между объектом и экраном.

Из геометрии опыта ясно, что

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{D}{2L}$$

Далее, по соответствующей выбранному кольцу формуле из (1) или (2), вычисляют диаметр частицы.

Ход работы

Уберите с пути лазерного луча рассеивающий микрообъектив, установите в пучок стеклянную пластинку с мазком крови (со спорами). Экран поместите на расстоянии примерно 20–40 см от объекта. Нанесите на стеклянную пластинку мазок крови. Для этого получите у лаборанта комплект чистых пластинок и ампулу с кровью. Каплю крови поместите на одну пластинку, а другой пластинкой сделайте по возможности равномерный мазок.

Свет лазера должен падать на пластинку перпендикулярно. Освещайте ту часть пластинки, которая покрыта равномерным слоем крови. Перемещением рейтера с пластинкой по оптической скамье, добейтесь получения на экране четкой системы концентрических колец. Поскольку размеры эритроцитов малы, кольца имеют довольно большой диаметр. Для облегчения отсчета диаметра дифракционного кольца на экран нанесены окружности. Постарайтесь за счет изменения расстояния L точно разместить какую-либо окружность по центру темного или светлого кольца. Это позволит точнее сделать отсчет. Расстояние L измерьте линейкой

Результаты измерений занесите в таблицу 2.

Табл.2.

Номер кольца	Диаметр кольца D	Расстояние между объектом и экраном L	$\text{tg}\varphi$	$\sin\varphi$	d
1					
2					
...					

Вычислите средний диаметр \bar{d} эритроцитов: $\bar{d} = \dots$

Литература

1. А.Н. Ремизов. Медицинская и биологическая физика. М. "Высшая школа". 1987, с.415-420, 534-538.